

УДК 621.564. 25:551.510. 534

¹*В.Л. Бондаренко, доктор техн. наук; ²О.В. Дьяченко, канд. техн. наук*¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., д. 1, факультет «Энергомашиностроение», Москва, РФ, 105005²ООО «Криоин Инжиниринг», Таможенная пл., 1А, Одесса, Украина, 65026e-mail: ¹*vbondarenko@raregases.org; ²diachenko-ov@yandex.ru*ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0003-1562-7255>; ²<http://orcid.org/0000-0001-5999-3965>

СИСТЕМЫ ТЕПЛО- И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ УСТАНОВОК ФАЗОВОЙ СЕПАРАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ЧИСТЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

В технологиях получения чистых технических газов важная роль отводится тепло- и хладоснабжению установок фазовой сепарации. В них обеспечивается температурный уровень охлаждения 125 К в процессе очистки криптона, 175 К — ксенона и 243 К — фреона-216. Исследована система охлаждения многоцелевой ректификационной установки для производства криптона и ксенона с применением адсорбционно-ректификационной технологии. Показано, что при использовании промежуточного контура охлаждения на базе жидкого азота в виде термосифона обеспечивается более высокая эффективность по сравнению с дроссельными циклами высокого давления. Каскадная система позволяет не только изменять температурный уровень в широком диапазоне температур путём заправки соответствующих промежуточных хладагентов, но и является наименее энергозатратной. Для тепло- и хладоснабжения ректификационной колонны, в которой производится очистка R216 от низкокипящих примесей, была разработана каскадная система, включающая пароконденсаторную холодильную машину и тепловой насос. Доказана возможность работы на альтернативных натуральных хладагентах R717, R22 и R407b холодильной машины и на рабочих телах R114, R142b и R600a — теплового насоса.

Ключевые слова: Редкие и технические газы. Ректификационная установка. Система тепло- и хладоснабжения. Коэффициент эффективности цикла. Эксергетический КПД. Удельное энергопотребление.

1. ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение на современном этапе является стратегической задачей человечества. С 70-х годов прошлого века во всем мире разрабатываются и внедряются новые энергосберегающие технологии, совершенствуется оборудование с целью сокращения расхода энергии.

Особое внимание в этой очень важной работе отводится повышению эффективности ряда высокозатратных технологий. К ним можно отнести процессы извлечения редких газов из газовых слабоконцентрированных смесей и их последующую очистку до состояния особо чистых продуктов.

Для извлечения из смесей веществ инертных и других технических газов необходимо экономное тепло- и хладоснабжение, нуждающееся в потреблении энергии (как правило, — электрической). Наиболее энергоёмкими в технологиях разделения газовых смесей являются процессы фазовой сепарации и адсорбции, которые, как правило, осуществляются в области низких температур и повышенных, относительно окружающей среды, давлениях.

Стоимость производимых газов во многом зависит от эффективности системы охлаждения. Темпе-

ратуры, при которых эксплуатируются фазовые сепараторы для получения редких и технических газов, лежат в диапазоне от 4 до 300 К. С учётом этого сложно совершенствовать контуры криогенного и высокотемпературного обеспечения реализуемых процессов из-за значительного изменения свойств веществ и отделяемых примесей.

Для повышения эффективности фазовых сепараторов необходимо решать оптимизационные задачи с одновременным выполнением систематизации возможных схем и конструкций установок, анализа тепловых процессов и описания свойств компонентов разделяемых смесей. Рассмотрению комплекса вытекающих отсюда вопросов, связанных с улучшением характеристик установок фазовой сепарации, посвящается настоящая статья.

2. КОМПЛЕКСЫ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧИСТЫХ ГАЗОВ

Для получения чистых редких газов (гелия, неона, криптона и ксенона) из первичных неоногелиевых и криптоноксеноновых концентратов создают комплексы установок [1, 2].

Рассмотрим их структуру и особенности, учитывая,