

УДК 621.59(078)

<sup>1</sup>*В.И. Файнштейн*, канд. техн. наук; <sup>2</sup>*Л.В. Максимова*

ПАО «Криогенмаш», пр. Ленина, 67, г. Балашиха Московской обл, РФ, 143907

e-mail: <sup>1</sup>*fainshtein@cryogenmash.ru*; <sup>2</sup>*maksimova@cryogenmash.ru*ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0003-4325-9234>; <sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0002-5164-4012>

## ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КЦА-УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

*Очистка водородсодержащих газовых смесей, имеющих ряд примесей, осуществляется методом короткоциклового безнагревной адсорбции, который позволяет получить водород высокой чистоты. Для оценки эффективности работы КЦА-установок было исследовано влияние различных схем и условий проведения процессов на чистоту получаемого водорода. Приведены результаты расчётов характеристик двух промышленных КЦА-установок, работающих с различными составами водородсодержащих смесей. Расчёты выполнялись при помощи программного продукта «Aspen Adsorption». Полученные результаты показали хорошую сходимость с действительными эксплуатационными показателями КЦА-установок.*

**Ключевые слова:** Короткоцикловая адсорбция. Программа «Aspen Adsorption». Водород. Коэффициент извлечения. Фазы цикла. Адсорбция. Десорбция. Перепуск газа. Сброс давления. Циклограмма.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для разделения различных газовых смесей, в том числе и воздуха, широко применяются установки короткоциклового безнагревной адсорбции (КЦА). Установки такого типа обеспечивают значительное повышение содержания ключевых компонентов в газовых смесях на основе водорода [1], кислорода, азота [2], метана.

Принцип разделения газовых смесей при помощи КЦА основан на существующих различиях в скоростях адсорбции компонентов газов на определённых адсорбентах, например, углеродных и других молекулярных ситах.

Процесс адсорбции протекает при повышенном давлении и температурах близких к окружающей среде. При этом легкоадсорбируемые компоненты смеси поглощаются адсорбентом, в то время как слабоадсорбируемые, обладающие минимальной скоростью адсорбции, или неадсорбируемые, проходят через аппарат. В результате происходит разделение газовой смеси. Процесс адсорбции протекает до определённого насыщения адсорбента удаляемыми компонентами из смеси. После этого происходит процесс регенерации адсорбента посредством сброса давления и продувки слоя чистым газом.

Для подготовки второго адсорбера к работе после регенерации адсорбента в нём поднимают давление до рабочего давления, в том числе путём перепуска потока из работающего адсорбера. Таким образом, время работы одного адсорбера, так называемый полуцикл, состоит из двух стадий: адсорбции и перепуска.

Частота переключения адсорберов колеблется от нескольких секунд до нескольких минут в зависимости от требуемой чистоты продукта и производительности установки.

Малая продолжительность полуцикла и отдельных стадий процесса КЦА в сочетании с непрерывным изменением рабочих параметров (давления, температуры, парциальных давлений компонентов смеси) создают серьёзные трудности при проектировании, выполнении экспериментальных исследований и получении реальных результатов, характеризующих работу установки.

Существующие литературные источники, посвящённые процессам и КЦА-установкам, весьма многочисленны, но носят, как правило, обзорный характер и не позволяют во всей полноте рассматривать процессы, протекающие в таких установках.

В связи с этим актуальным является расчёт и оптимизация процессов, протекающих в КЦА-установке, с использованием специализированного программного продукта «Aspen Adsorption». В его рабочей среде можно выполнять математическое моделирование сложных адсорбционных систем с получением адекватных результатов расчётов.

Рассмотрим процессы КЦА-очистки водородсодержащих смесей [3], а также влияние различных схем и условий проведения процессов на чистоту очищенного газа и другие его характеристики с использованием программы «Aspen Adsorption». Кроме этого, оценим сходимость полученных результатов расчётов с параметрами, характеризующими работу двух промышленных КЦА-установок, находящихся в эксплуатации.