

УДК 620.93:662.769.21

Клаус Кёпсель

«LINDE AG», Process Engineering and Contracting Division, Dept. HAP,  
6-14, Dr. Carl-von-Linde Str., D-82049, Hollriegelskreuth (near Munich), Germany

## ТЕХНОЛОГИЯ КОРОТКО-ЦИКЛОВОЙ АДсорбЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧИСТОГО ВОДОРОДА

Потребность промышленности в водороде неуклонно растет. Поэтому постоянно уделяется внимание совершенствованию процессов и технологий производства водорода. Одним из источников водорода являются различные водородсодержащие газовые смеси. Для извлечения из них водорода целесообразно в большинстве случаев применять установки, в которых реализуются процессы коротко-циклового адсорбции (КЦА). «ЛИНДЕ АГ» в настоящее время производит эффективные установки для получения чистого водорода с помощью процессов КЦА производительностью до 300000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . За период с 1974 г. фирма построила водородные установки с суммарной годовой производительностью более 45 млрд.  $\text{нм}^3$  по исходным водородсодержащим газовым смесям. В данной статье рассматриваются основные особенности установок с КЦА для производства водорода и др. газов, а также некоторые направления их совершенствования.

**Ключевые слова:** водород; адсорбент; коротко-цикловая адсорбция (КЦА).

H<sub>2</sub>

The industry's requirement of the hydrogen has steadily grown. Therefore a constantly pays attention to perfection the processes and technologies of manufacturing hydrogen. The various hydrogenous gas mixtures are one of sources of hydrogen. For extraction from them hydrogen it is expedient to apply in most cases the installations in which are realized the processes of pressure swing adsorption (PSA). «LINDE AG» now produces an effective installations for reception of purity hydrogen with the help of PSA processes with productivity up to 300000  $\text{nm}^3/\text{h}$ . For the period since 1974 the firm has constructed a hydrogen installations with a total annual production rate more than 45 billion  $\text{nm}^3$  by initial hydrogenous gas mixtures. The basic features of installations with PSA for manufacture of hydrogen and other gases, and also some directions of their perfection are considered in given article.

**Key words:** hydrogen; adsorbent; pressure swing adsorption (PSA).

### ВВЕДЕНИЕ

Водород широко используется в различных технологических процессах [1, 2]. Мировое производство водорода в настоящее время должно превышать 100 млн. т в год. Основной источник водорода — водородсодержащие газы. Затраты на извлечение водорода из этих газов зависят прежде всего от совершенства применяемых процессов, технологий и оборудования.

Для очистки и разделения газовой смеси промышленными способами можно использовать следующие четыре основных метода.

**Конденсация и дистилляция.** Для разделения газобразной смеси учитывают различия в точках кипения входящих в смесь газовых компонентов. Так как химические реакции не происходят, то этот процесс относится к физическому методу разделения.

**Диффузия.** Разделение газа достигается благодаря различной скорости диффузии молекул газов через мембрану. Химические реакции не происходят, т. е. процесс основан на физическом методе разделения.

**Абсорбция.** Разделение газовых компонентов производится за счет химического или физического поглоще-

ния некоторых газовых молекул в промывном растворе.

**Адсорбция.** Разделение ведется благодаря различию в силах сцепления между некоторыми компонентами и адсорбентом. Процесс основывается на физическом методе разделения.

В настоящее время альтернативой криогенным методам разделения является коротко-цикловая адсорбция (КЦА). Интерес к этому методу сильно вырос в последние десятилетия, главным образом, из-за его простоты и низких производственных расходов. Его основная область — получение высокочистого водорода. Но также важны и другие направления использования. Прежде всего, такие, как получение чистого метана, оксида углерода, удаление из смесей диоксида углерода, а также кислорода и азота из воздуха [3–5].

В данной статье рассматриваются основные особенности установок КЦА для производства чистого водорода и некоторые направления их совершенствования.

### II. ОСНОВЫ КОРОТКО-ЦИКЛОВОЙ АДсорбЦИИ

Метод адсорбционного разделения газов колебанием давления (КЦА) основан на физическом закрепле-