



УДК 661.9

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ АДсорбЦИИ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### ECOLOGICAL ASPECTS OF MULTI-COMPONENT ADSORPTION IN THE GAS INDUSTRY

**Юсубов Фахраддин Вали оглы**

доктор технический наук, профессор  
Азербайджанский государственный университет  
нефти и промышленности  
yusfax@mail.ru

**Yusubov Fakhraddin Vali oglu,**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Azerbaijan State University of  
Oil and Technology  
yusfax@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена исследованию адсорбции газовой смеси ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) на цеолите NaX. Установлено, что не использованная часть длины адсорбционного слоя, если не учитывать застойную зону, составляет 5,8 % неподвижного слоя адсорбента, а при учете равняется 1,2 %.

**Annotation.** This article is devoted to the investigation of the adsorption of a gas mixture ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) on a NaX zeolite. It is established that the unused part of the length of the adsorption layer, if the stagnant zone is not taken into account, is 5,8 % of the fixed bed of the adsorbent, and when recorded is 1,2 %.

**Ключевые слова:** экология, адсорбция, газовая смесь, массообмен.

**Keywords:** ecology, adsorption, gas mixture, mass transfer.

В современном мире в нефтехимической и нефтегазовой промышленности растет актуальность использования процессов адсорбции. Это связано с тем, что процессы адсорбции, с экологической точки зрения являясь чистыми, предотвращают загрязнения окружающей среды, а также по сравнению с другими процессами их экономические показатели высоки [1–4].

Следует отметить, что некоторые этапы процесса адсорбции одного или нескольких компонентов из смесей газов недостаточно изучены. Среди этих этапов: тепловые эффекты, исследование процесса в переходном режиме, концентрационные и температурные профили бинарных и 3-х компонентных систем, зависимость коэффициента диффузии от концентрации, температуры адсорбтива и скорости потока сырья, адсорбция при высоких и переменных значениях давления, застойные зоны промышленных адсорберов.

Исследование промышленных адсорберов имеет большое народно-хозяйственное значение, поскольку процесс адсорбции, в целом, охватывает несколько этапов (адсорбция, десорбция, сушка и охлаждение), в зависимости от продолжительности застойных этапов, переключения с одного адсорбера на другой, характеристики застойных зон, имеют важные практические и научные значения как для имеющихся, так и для проектируемых адсорберов. Претворение в жизнь выше перечисленного, доказывает актуальность вопроса создания математической модели процесса адсорбции 3-х компонентных смесей из газовых фаз. В итоге созданная математическая модель делает актуальным оптимальное управление процессом [5].

По результатам проведенных опытных исследований разработан метод расчета значений коэффициентов диффузии, в зависимости от концентрации, температуры адсорбтива и проточной скорости сырья. Эта зависимость показана в виде математического уравнения и добавлена к общей математической модели. В результате разработаны научные основы адаптивного оптимального управления промышленных адсорбционных установок.

На основании системного анализа, при переходном режиме, проводились обширные исследования характеристики адсорбционного процесса и закономерностей изменения его параметров для систем, состоящих из бинарных и 3-х компонентных смесей. Оптимальное проектирование адсорбционных процессов, увеличение экономического эффекта и при его адаптивном оптимальном управлении, выяснение полного рабочего цикла промышленных адсорберов и определение времени их отдельных этапов, в целом, для управления химико-технологическим комплексом является важным условием. Также знание заранее возможностей изменения по времени динамики состава сырья очень полезно для адсорбционных процессов. Учитывая это, отдается предпочтение изучению адсорбции при переходном режиме. При переходном режиме процесс адсорбции идет более интенсивно, процесс экономически выгоден и продукт должен быть удален из адсорбера до создания равновесия. Надо учитывать то, что в состоянии равновесия время продолжения процесса зависит от степени отклонения. В нестационарном условии построена математическая модель процесса адсорбции в неподвижном слое адсорбента. Составлено математическое описание зависимости коэффициента мас-



сопередачи  $\beta$  от различных параметров. Выявлено, что при условии  $\frac{D}{dqr} \geq 30$ , (здесь  $D$  – диаметр адсорбера;  $dqr$  – диаметр зерна адсорбента) для многокомпонентного процесса адсорбции массообмен достаточно увеличивается [6, 7].

В итоге внутри адсорбера на неподвижном слое образуется застойный гидравлический режим, т.е. скорость потока является постоянной и концентрация во всех точках распространяется равномерно. В последствие этого внутри адсорбера между отдельной и разделительной секциями застойные зоны не образуются.

Сравнительный анализ результатов показывают, что при проектировании промышленных адсорберов особенно в адсорберах, работающих при неподвижном слое адсорбента, обязательно должны учитываться застойная зона.

Выбор оптимальных вариантов аппаратного оформления промышленных адсорберов, в том числе исследование промышленных адсорберов имеющих застойные зоны является актуальным вопросом. Если учесть, что процесс адсорбции идет очень быстро, тогда можно считать, что кинетика адсорбции определяется скоростями внутренней и внешней диффузиями. При внешнем массообмене на процесс сильно влияет его гидродинамический режим. Поэтому при изучении процесса в аппаратуре с застойной зоной, допускается, что в этой зоне среда неподвижная или в основном потоке обмен происходит очень медленно. На практике между застойной зоной и с другими частями аппарата, за счет микро- и макрособытий, всегда наблюдается некоторые массообменные процессы [8].

Известно, что неравномерное распределение элементов потока в аппарате является причиной образования в системе застойной зоны из объемов жидкостей и газов. Вследствие этого выражения системы при помощи модели диффузии резко увеличивает погрешность.

Последняя часть объема относится к объему застойной зоны. Модель диффузии в общем случае дается в литературе.

$$S \cdot V \cdot D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = S \cdot V \frac{\partial C_1}{\partial \tau} + Q \frac{\partial C_1}{\partial X} + S(K_1 \cdot C_1 - K_2 \cdot C_2)$$

$$\rho = K_1 \cdot C_1 - K_2 \cdot C_2. \tag{1}$$

Для застойной зоны:

$$V_1 \frac{\partial c_1}{\partial c_2} = \rho, \tag{2}$$

где  $V$  – объем потока в адсорбере;  $Q$  – объемный расход жидкости или газа;  $\rho$  – плотность источника массы;  $c_1$  и  $c_2$  – концентрации в проточных и застойных зонах;  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, характеризующие скорость между зонами;  $V_1$  – относительный объем застойной зоны;  $D$  – коэффициент продольного перемешивание;  $S$  – поперечное сечение адсорбционной колонны.

Показанные выше уравнения (1) и (2) дают возможность учитывать застойную зону адсорбера.

Адсорбция смесей газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$ ) проводилась на NaX цеолите. Опытным путем изучены выходные кривые процесса адсорбции газовых смесей с учетом и без учета застойной зоны в адсорбере.

В результате выявлено, что адсорбционное равновесие в адсорбере без учета застойной зоны происходит через 90 секунд, а с ее учетом через 70 секунд. Это событие объясняется тем, что при учете застойной зоны массообмен в адсорбере значительно улучшается.

Также при высоких давлениях определена зависимость адсорбтива и концентрации поглощенного вещества от длины слоя адсорбента для адсорбции газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) на цеолите NaX. Показана последовательность активности этих газов:  $\text{CO}_2/\text{CH}_4/\text{N}_2$ . Впоследствии изучения кинетики адсорбции многокомпонентной системы, определены высоты зон массообмена и «защиты».

В результате проведенного научно-комплексного исследования, при адсорбции газовой смеси из метана, азота и  $\text{CO}_2$  выявлено, что в адсорбере адсорбционное равновесие с учетом застойной зоны образуется за 90 секунд, а без учета за 70 секунд. Поэтому при учете в адсорбере застойной зоны, массообмен значительно улучшается.

Исследованиями установлено, что не использованная часть длины адсорбционного слоя, если не учитывать застойную зону, составляет 5,8 % неподвижного слоя адсорбента, а при учете равняется 1,2 %.

### Литература:

1. Никифоров И.А. Адсорбционные методы в экологии. – Саратовский государственный университет, 2011. – 48 с.



2. Чубарев Д.Н. Адсорбционные методы очистки газа // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 192.
3. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М., 1984. – 592 с.
4. Юсубов Ф.В., Зейналов Р.И., Ибрагимов Ч.Ш. Исследование сорбционных процессов в переходном режиме // Журнал прикладной химии. – Т. 74. – Вып. 69. – С. 59–62.
5. Seong-Ched Jang, Se-il Yang et.al. Adsorption dynamics and effects carbon to zeolite ratio of layered beds for multicomponent gas adsorption // Korean Journal Chemical Engineering. – 2011. – V. 28 (2). – P. 583–590.
6. Утилизация сернистого попутного газа / Ф.Р. Исмагилов [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2011. – № 1. – С. 3–7.
7. Исследование диффузионных параметров адсорбционной очистки природных газов // Нефтегазовые технологии. – 2016. – № 4. – С. 64–69.
8. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Новый подход к тонкой очистке природных газов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 10. – С. 25–29.

#### References:

1. Nikifirov I.A. The adsorptive methods in ecology. – Saratov State University, 2011. – 48 p.
2. Chubarev D.N. The adsorptive methods of purification of gas // Achievements of modern natural sciences. – 2012. – № 6. – P. 192.
3. Keltsev N.V. Bases of the adsorptive equipment. – M., 1984. – 592 p.
4. Yusubov F.V., Zeynalov R.I., Ibragimov Ch.Sh. Research of sorption processes in the transitional mode // Magazine of applied chemistry. – V. 74. – Is. 69. – P. 59–62.
5. Seong-Ched Jang, Se-il Yang et.al. Adsorption dynamics and effects carbon to zeolite ratio of layered beds for multicomponent gas adsorption // Korean Journal Chemical Engineering. – 2011. – V. 28 (2). – P. 583–590.
6. Utilization of sulphurous associated gas / F.R. Ismagilov [etc.] // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2011. – № 1. – P. 3–7.
7. Research of diffusive parameters of the adsorptive purification of natural gases // Oil and gas technologies. – 2016. – № 4. – P. 64–69.
8. Yusubov F.V., Bayramova A.S. New approach to thin purification of natural gases // Oil processing and petrochemistry. – 2016. – № 10. – P. 25–29.