

УДК 66.021.2.081.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ



OPTIMIZATION OF THE ADSORPTION OF A GAS MIXTURE AT HIGH PRESSURES

Юсубов Фахраддин Вали оглы

доктор технических наук, профессор,
Азербайджанский технический университет
yusfax@mail.ru

Аннотация. Проведены опытные исследования адсорбции газовой смеси (CO₂, CH₄ и N₂). В качестве адсорбента использован цеолит NaA. В это время давление в системе поддерживали 1360 hPa. Изменяли температуру на опытной установке в пределах от 300 С до 800 С. Опытным путем изучены выходные кривые процесса адсорбции газовых смесей с учетом и без учета застойной зоны в адсорбере.

Ключевые слова: газовая смесь, адсорбция, цеолит, застойная зона, оптимизация

Yusubov Fakhraddin Vali oglu

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Azerbaijan Technical University
yusfax@mail.ru

Annotation. Experimental studies of the adsorption of a gas mixture (CO₂, CH₄ и N₂) have been carried out. Zeolite NaA was used as an adsorbent. At this time, the pressure in the system was maintained at 1360 hPa. The temperature was changed on the pilot plant in the range from 300 C to 800 C. The output curves of the adsorption process of gas mixtures with and without taking into account the stagnant zone in the adsorber have been studied empirically.

Keywords: gas mixture, adsorption, zeolite, stagnant zone, optimization

В современном мире в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности растет удельный вес 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].

Выбор оптимальных вариантов аппаратного оформления промышленных адсорберов, в том числе адсорберы 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.

Из исследований получены, что с увеличением давления, диффузионное время в транспортных порах адсорбента намного больше времени адсорбции в макропорах пористого адсорбента. Это связано с тем, что с увеличением давления плотность газовой фазы увеличивается. А это, в свою очередь, является причиной уменьшения диффузионного коэффициента адсорбируемой молекулы в газовой фазе. Такой характер изменения плотности газовой фазы и коэффициент диффузии с увеличением давления достаточно влияет на процесс адсорбции [2].

Проведены опытные исследования адсорбции газовой смеси из метана, азота и CO₂. Здесь в качестве адсорбента использован цеолит NaA. В это время давление в системе было 1360 hPa. Изменять температуру на опытной установке от 300 С до 800 С возможно. Высота слоя адсорбента в адсорбере равнялась $h = 162$ мм, а масса активированного угля $m_{ад} = 45$ г.

При расчете адсорберов обязательным является расчет времени застоя и массового потока адсорбтива. Под понятием времени застоя адсорбера подразумевается то, что газ входит в адсорбент, но процесс адсорбции не происходит. Время до протекания адсорбции определяет время застоя:

$$t_d = \frac{V_d}{V_{Ad}} = \frac{V_d \cdot P_{AD} \cdot T_N}{V_N \cdot P_N \cdot T_{Ad}}$$

здесь P_N и T_N соответственно давление и температура газа в нормальных условиях.

$$P_N = 1013 \text{ hPa}; T_N = 273 \text{ K}$$

В результате полученные оптимальные значения специфических параметров адсорбера (в виде метода оптимизации использован метод «Комплекс», выполнен в расчетных системах «Maple» и «Origin») представлены ниже:

Масса адсорбента: $m_{Ad} = 45 \text{ г}$

Высота слоя адсорбента: $H = 21 \text{ см}$

Объем застойной зоны: $V_d = 120 \text{ см}^3$

Давление в системе: $P_{Ad} = 1600 \text{ hPa}$

Адсорбция газовой смеси из CO_2 , CH_4 и N_2 проведена при различных температурах и давлениях. Проведенные опытные исследования показали, что из смеси газов больше всех адсорбции подвергается CO_2 , меньше N_2 . CH_4 занимает в этом плане промежуточное положение [3, 4].

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. Адсорбция смесей газов (CO_2 , CH_4 и N_2) проводилась на NaA цеолите. Опытным путем изучены выходные кривые процесса адсорбции газовых смесей с учетом и без учета застойной зоны в адсорбере.

Анализ различных методов оптимизации при исследовании дается в таблице 1.

Таблица 1 – Погрешности методов оптимизации

№	Наименование методов оптимизации	Погрешность оптимальных значений коэффициентов (по сравнению с опытными значениями)
1	2	3
1	Метод наименьших квадратов	5
2	Самый быстрый способ понижения	6–8
3	Модифицированный метод Хук-Чивса	4,5
4	Метод прямого поиска функции с n-переменной	4
5	Комплексный метод	1,2–1,6
6	Метод Флещера-Ривса	3–4

В результате полученных комплексных научных исследований выяснено, что на цеолите NaA адсорбционное равновесие газовых смесей CH_4 , CO_2 и N_2 без учета застойной зоны происходит за 98 секунд, а с ее учета меньше 65 секунд. Это событие объясняется тем, что при учете застойной зоны массообмен в адсорбере значительно улучшается.

Также на основе инженерных расчетов найдено, что неиспользованная длина адсорбционного слоя без учета застойной зоны, составляет 5,8 %, а с учетом – 1,2 % от общей длины неподвижного слоя адсорбента.

Литература

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М. : Химия, 1984. – 592 с.
2. Bathen D., Breitbach M. Adsorptionstechnik. – Berlin–Heidelberg–NewYork : Springer-Verlag, 2001.
3. Юсубов Ф.В., Ибрагимов Ч.Ш. Адсорбционное разделение газовых смесей в неподвижном слое адсорбента // Химия и технология топлив и масел. – 2018. – № 3. – С. 27–30.
4. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Анализ режимов работы промышленных адсорбер // Химическое и нефтегазовые машиностроение. – 2019. – № 5. – С. 12–15.

References

1. Keltsev N.V. Basics of adsorption technology. – M. : Chemistry, 1984. – 592 p.
2. Bathen D., Breitbach M. Adsorptionstechnik. – Berlin–Heidelberg–NewYork : Springer-Verlag, 2001.
3. Yusubov F.V., Ibragimov Ch.Sh. Adsorption separation of gas mixtures in a fixed bed of adsorbent // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2018. – № 3. – P. 27–30.
4. Yusubov F.V., Bayramova A.S. Analysis of operating modes of industrial adsorbers // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2019. – № 5. – P. 12–15.