

УДК 66.067

ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ



GETTING THE GAS CONCENTRATION VALUE DEPENDING ON THE CONDITION OF THE ADSORPTION PROCESS

Байрамова Айгюн Сеймур кызы

доктор технических наук по философии,
инженер научно-исследовательской лаборатории
«Новые химические материалы и технологии»,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
aygun.b74@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена разработке математической модели и оптимизации процесса адсорбции вредных компонентов H_2S , CO_2 и NO_2 из газовых смесей. Для осуществления этой задачи в данной работе рассматривались следующие задачи: разработка математического описания процесса адсорбции H_2S , CO_2 и NO_2 из газовых смесей; вычисление изменения значения технологических параметров адсорбционной очистки газовых смесей, определяющих оптимальный режим адсорбционного процесса; разработка математического описания процесса адсорбции в изменяющихся внешних условиях; определение оптимальных значений технологических параметров по отдельным компонентам (H_2S , CO_2 и NO_2) из газовых смесей.

Ключевые слова: адсорбция, неподвижный слой, адсорбент, цеолит, газовая смесь.

Bayramova Aygun Seymur qizi

Doctor of Technical Sciences in Philosophy,
Engineer, Research Laboratory
«New chemical materials and technologies»,
Azerbaijan State Oil and Industry University
aygun.b74@mail.ru

Annotation. This article is devoted to the development of a mathematical model and optimization of the process of adsorption of harmful components of H_2S , CO_2 and NO_2 from gas mixtures. To implement this task, the following tasks were considered in this paper: development of a mathematical description of the process of adsorption of H_2S , CO_2 and NO_2 from gas mixtures; calculation of changes in the value of the technological parameters of adsorption purification of gas mixtures that determine the optimal mode of the adsorption process; development of a mathematical description of the adsorption process under changing external conditions; determination of optimal values of technological parameters for individual components (H_2S , CO_2 and NO_2) from gas mixtures.

Keywords: adsorption, fixed layer, adsorbent, zeolite, gas mixture.

Как известно, на территории Азербайджана разведано и законсервировано много газовых и нефтегазовых месторождений с примесями NO_2 , CO_2 и серосодержащими соединениями. Однако разработка данных газовых и нефтегазовых месторождений без обеспечения их эффективным очистным сооружением и оборудованием может стать источником серьезных экологических осложнений. Применение этих очищенных чистых газов в качестве энергоносителей решает ряд экологических проблем.

Учитывая вышеуказанные задачи и проблемы пришли к выводу, что поставленные и решаемые в данной работе проблемы науки и техники весьма актуальны.

К предприятиям газовой промышленности, эксплуатация которых в той или иной степени влияет на загрязнение атмосферы, относятся газодобывающие, газоперерабатывающие и газотранспортные объекты. Технология очистки газов от различных газовых смесей осуществляется по закономерностям адсорбционных сил.

Адсорбционный метод способствует полному извлечению из газовой смеси нежелательных компонентов. Все это обуславливает широкое применение адсорбционных процессов в современной нефтеперерабатывающей, химической и газовой промышленности. Основой математического моделирования промышленных адсорберов в неподвижном слое адсорбента является математическое описание теплообмена на отдельном зерне адсорбента [1].

Для моделирования используем уравнение теплопроводности – дифференциальных уравнений параболического типа:

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial m}{\partial \tau} - \frac{\partial^2 m}{\partial l^2} = 0. \quad (1)$$

Обозначим через m – температуру; τ – время; l – координата слоя адсорбента; c^2 – температуропроводность.

Принимаем $m = m(l, \tau)$; $l \in [h_1, h_2]$; $\tau \in [\tau_1, \tau_2]$,

$\frac{\partial m}{\partial \tau}$ – описывает изменения температуры по времени,

$\frac{\partial^2 m}{\partial l^2}$ – описывает температурного профиля слоя адсорбента адсорбера.

Температурный профиль слоя адсорбента адсорбера описывает отличия температуры в данной точке зоны от средней температуры в соседних зонах.

Граничное условие:

$$\begin{cases} m(0, \tau) = 0 & \tau \in]0; \tau] \\ m_x(1, \tau) - \chi \cdot m(1, \tau) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$m(l, 0) = \varphi(l); l \in]0, 1].$$

Решение уравнений (1) будет так:

$$T(\tau) = a \cdot e^{-k^2 \cdot c^2 \tau}. \quad (3)$$

Уравнение (3) описывает за каждый момент времени температуры в неподвижном слое адсорбента. Это уравнение позволяет найти распределение тепла адсорбции между газовом потоком и неподвижном слое адсорбента. В реальных условиях адсорбция происходит сложнее. При движении потока газа через неподвижной слой адсорбента массообмен при сорбции протекает не мгновенно, изменяется во времени [2, 3].

В зоне массопередачи адсорбера обычно существует 3 границы:

- 1) отработанный слой;
- 2) работающий слой;
- 3) неработающий слой.

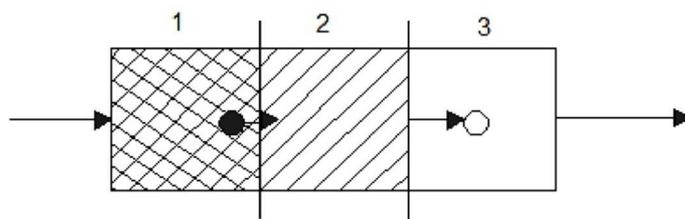


Рисунок 1 – Зоны массотеплообмена адсорбера

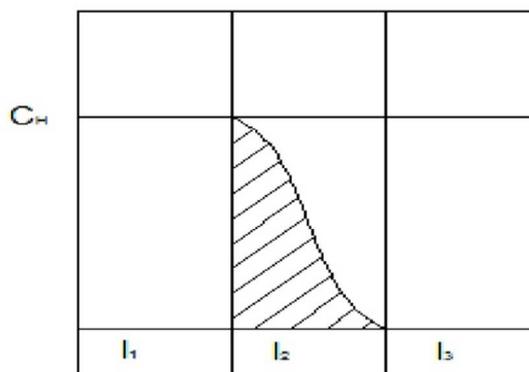


Рисунок 2 – Зависимость концентрации адсорбтива от высоты слоя адсорбента

Скорость равновесного состояния тепломассообменных процессов, имеет большое значение при определении эффективности работы адсорбционных аппаратов. В случае неизотермической адсорбции очень важно иметь возможность предсказывать ход изменения температуры неподвижного слоя адсорбента со временем, т.к., экономически оказывается наиболее выгодным производить отбор продукта из промышленного адсорбера до установления равновесного состояния, т.е. при переходном режиме. Степень отклонения от равновесного состояния, обуславливает, кроме того, продолжительность процесса. Безразмерную температуру описываем уравнением (4).

$$\theta = \frac{m_k - m_H}{m_{o.c} - m_H}, \quad (4)$$

где m_k – конечная температура; m_H – начальная температура; $m_{o.c}$ – температура окружающей среды; θ – безразмерная величина температуры:

$$\theta = f(F_0), \quad (5)$$

здесь F_0 – критерия Фурье.

$$F_0 = \frac{c \cdot T}{R^2}, \quad (6)$$

R – радиус зерна адсорбента.

Из уравнений (3) (4) и (6) получаем

$$\theta = a \cdot e^{-k^2 \cdot c \cdot R^2 F_0} = a \cdot e^{-x \cdot F_0}, \quad (7)$$

где $x = -k^2 \cdot c \cdot R^2$.

На основе уравнений (7) вычисляем зависимость $\theta = f(F_0)$.

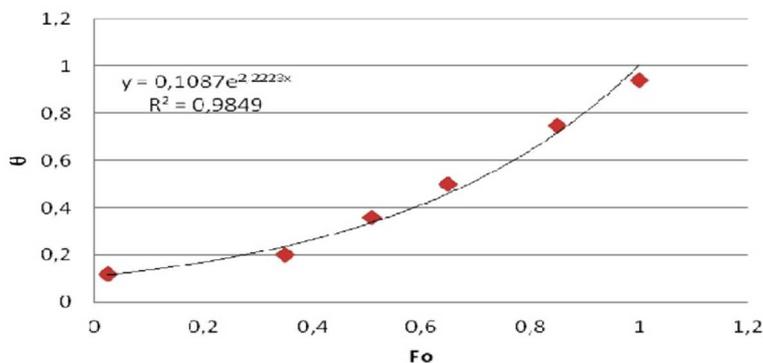


Рисунок 3 – Зависимость $\theta = f(F_0)$

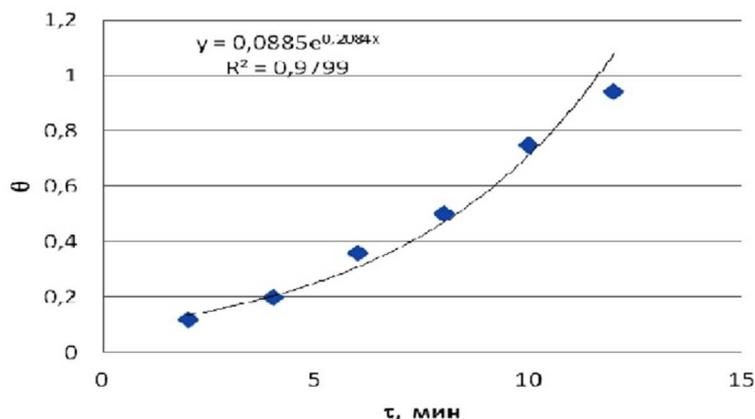


Рисунок 4 – Зависимость безразмерной температуры от времени

Для обеспечения непрерывности процесса адсорбции газовых смесей по потоку сырья и готового продукта в схеме установки предусмотрены четыре адсорбера, в каждом из которых и определенный промежуток времени проводится один из этапов процесса [4].

Далее нами изучена адсорбционная очистка газовых смесей от CO_2 , NO_2 и H_2S с цеолитами NaX, NaA и CaA.

При экспериментальном исследовании изучены кривые изотермы адсорбции CO_2 , H_2S и NO_2 из газовых смесей. Изотермы адсорбции определены в цеолите NaX. Получены результаты исследований адсорбционной способности различных адсорбентов по CO_2 , H_2S и NO_2 из газовых смесей в идентичных условиях. Выявлено преимущественное использование цеолита NaX для сорбционного разделения CO_2 , H_2S и NO_2 . Расчет промышленных адсорберов и их число имеют важные практические значения. Поэтому динамическая активность синтетического цеолита NaX и скорость десорбции газа вычисляются из опытных данных. Также регенерация цеолита должны соответствовать опытным данным.

Газовую смесь H_2S , CO_2 и NO_2 пропускали через неподвижный слой цеолита NaX 1–6 МПа, подачей при $20^\circ \div 40^\circ\text{C}$ в верхнюю часть адсорбера. На неподвижном слое цеолита NaX происходит адсорбция H_2S , CO_2 и NO_2 . Процесс осуществляется в 4-х адсорбционных аппаратах. Первый адсорбер работает в режиме адсорбции, второй десорбции, третий регенерации и четвертый охлаждения. Скорость природного газа определяется гидравлическим сопротивлением слоя адсорбента. Слой цеолита NaX постепенно насыщается нежелательными компонентами H_2S , CO_2 и NO_2 . После полного насыщения цеолита адсорбер переключают на регенерационный режим непосредственно в адсорбере и дальше соответственно [4, 5]. Значение концентрации газов, содержащихся в очищенном потоке на выходе из адсорбера, в зависимости от условия процесса адсорбции приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения концентрации газов, содержащихся в очищенном потоке на выходе из адсорбера в зависимости от условия процесса адсорбции

Значение перепада давления в адсорбционном слое, кГ/см ²	Содержание компонентов газовых смесей после очистки, % объем		
	H_2S	CO_2	NO_2
0,153	0,059	0,041	0,087
0,163	0,054	0,033	0,08
0,173	0,047	0,018	0,07
0,183	0,042	0,012	0,062
0,193	0,040	0,011	0,061
0,203	0,041	0,010	0,067
0,214	0,042	0,014	0,074
0,224	0,043	0,020	0,086
0,234	0,047	0,026	0,092

Выводы: Таким образом, предлагаемый метод разделения газовых смесей позволяет вести адсорбцию в отношении трехкомпонентной газовой смеси H_2S / NO_2 / CO_2 , исходный состав которой в %-ом объеме соответствует – H_2S – 80 %, CO_2 – 15 %, NO_2 – 5 %, с использованием в качестве цеолита NaX при поддержании перепада давления в адсорбционном слое $0,173 \div 0,203$ кГ/см². Оптимальными условиями процесса адсорбции содержащихся газовых компонентов в смеси является проведение процесса при перепаде давления в адсорбционном слое $0,193$ кГ / см² который обеспечивает после очистки содержание H_2S – 0,040, CO_2 – 0,010, NO_2 – 0,061.

Литература

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М., 1984. – 592 с.
2. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Моделирование тепломассообмена при адсорбции газовых смесей в переходном режиме // «Инженерно-физический журнал» (ИФЖ). – Беларусь, Минск. – 2019, январь–февраль. – Т. 92. – № 1. – С. 120–127.
3. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Новый подход к тонкой очистке природных газов // Журнал «Нефтепереработка и нефтехимия». – 2016. – № 10. – С. 25–29.
4. Байрамова А.С. Идентификация процесса адсорбционной очистки газовых смесей // Журнал «Наука, техника и образование». – 2016. – № 11 (29). – С. 20–27.
5. Bathen D., Breitbach H. Adsorptionstechnik // Springer. – Berlin, 2001. – 341 p.

References

1. Keltsev N.V. Fundamentals of Adsorption Technology. – M., 1984. – 592 p.
2. Yusubov F.V., Bayramova A.S. Modeling of heat and mass transfer during adsorption of gas mixtures in a transient mode // «Engineering Physical Journal» (IPJ). – Belarus, Minsk. – 2019, January–February. – Vol. 92. – № 1. – P. 120–127.
3. Yusubov F.V., Bayramova A.S. New approach to fine purification of natural gases // Journal of Petroleum Refining and Petrochemistry. – 2016. – № 10. – P. 25–29.
4. Bayramova A.S. Identification of adsorption purification process of gas mixtures // Journal of Science, Technology and Education. – 2016. – № 11 (29). – P. 20–27.
5. Bathen D., Breitbach H. Adsorptionstechnik // Springer. – Berlin, 2001. – 341 p.