



УДК 66.021.081.3

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ CO₂

RESEARCH AND MODELING OF THE PROCESS OF CO₂ ADSORPTION

Юсубов Фахраддин Вали оглы

д-р. техн. наук, профессор, заведующей кафедры
Азербайджанский технический университет
yusfax@mail.ru

Yusubov Fakhraddin Vali oglu

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

Аннотация. Изучены процесса адсорбции CO₂ из газовых смесей цеолитными адсорбентами с помощью системного анализа. Построена полная математическая модель процесса адсорбции и расчет ее параметров. Разработанная математическая модель может быть применена как к синтетическим, так и к природным цеолитам. Математическая модель процесса адсорбции может быть основой для поиска и управления его оптимальным режимом работы в будущем.

Annotation. With the help of a systematic analysis, the process of CO₂ adsorption from gas mixtures by zeolite adsorbents has been studied. A complete mathematical model of the adsorption process and the calculation of its parameters have been built. The developed mathematical model can be applied to both synthetic and natural zeolites. The mathematical model of the adsorption process can be the basis for the search and control of the optimal mode of its operation in the future.

Ключевые слова: карбон-диоксид, адсорбция, изотерма, адсорбент, модель.

Keywords: carbon dioxide, adsorption, isotherm, adsorbent, model.

Защита окружающей среды от вредных промышленных и транспортных отходов – одна из глобальных проблем человечества. В этом контексте перед учеными и инженерами стоят такие важные вопросы, как создание безотходных производств и предотвращение загрязнения биосферы от CO₂. Также CO₂ оказывает значительное влияние на истощение озонового слоя, который нас окружает. Это, как известно, вызывает «разогрев» планеты. Следует отметить, что адсорбционная очистка технологических и промышленных газов, содержащих различные вредные вещества, возможна [1]. Очистка газа связана с рядом сложных технических вопросов. При правильном выборе технологического регламента, схем и устройства вредные компоненты могут быть полностью удалены из газовой смеси путем физической адсорбции. Адсорбционный метод также успешно применяется для очистки CO₂ из различных газовых смесей [2]. Однако очистка CO₂ из газовых смесей цеолитными адсорбентами изучена недостаточно. Целью данной работы является изучение процесса адсорбции CO₂ из газовых смесей цеолитными адсорбентами с помощью системного анализа, построение полной математической модели и расчет ее параметров.

Адсорбционные равновесные величины, полученные в разработанных математических моделях и экспериментах, позволяют изучать нестационарный процесс адсорбции [3].

Цель исследования – изучение очистки газовых смесей от CO₂ сначала в синтетических цеолитах, а затем в природных цеолитах. Разработанная математическая модель может быть применена как к синтетическим, так и к природным цеолитам. Это связано с тем, что в Азербайджане достаточно месторождений природных цеолитов, и они дешевле синтетических цеолитов. С другой стороны, синтетические цеолиты в нашей стране не производятся.

Процесс адсорбции CO₂ осуществлялся гидрофильными синтетическими цеолитами «Tricat Zeolites GmbH», NaX и природный клиноптилолит месторождений Азербайджана. Процесс адсорбции углекислого газа исследовали на приборе магнитных весов «Руботерм». Экспериментальные изотермические кривые получены в динамических условиях. Перед экспериментом цеолиты сушили на воздухе в муфельной печи при 400 °С в течение 4 часов. Постоянство температуры поддерживалось с помощью ультратермостата с точностью до 0,10 °С.

Эксперименты проводились при 250 °С. Исследованы полученные экспериментальные изотермы адсорбции (на различных цеолитах). Поскольку критический диаметр CO₂ составляет 0,33 нм, они могут проникать в большинство цеолитов. Встроенные изотермы адсорбции показывают, что ZeoMax 2110 более абсорбирующий, чем цеолиты NaX и природный клиноптилолит.

Количество CO₂, абсорбированного в цеолите ZeoMax 2110, составляет 0,14 г CO₂ / г цеолита. Это количество равно 0,110 г CO₂ / г для NaX и 0,138 г CO₂ / г цеолита для природного клиноптилолита. Таким образом, эксперименты показали, что цеолит ZeoMax 2110 больше подходит для адсорбции CO₂. Для этого был изучен процесс адсорбции CO₂ в цеолите ZeoMax 2110 при высоких давлениях. Давление изменялось в широком диапазоне бар. Устройство не позволяет проводить процесс при давлении выше 130 бар. Следовательно, при давлениях выше 130 бар изотермическая кривая не определялась.

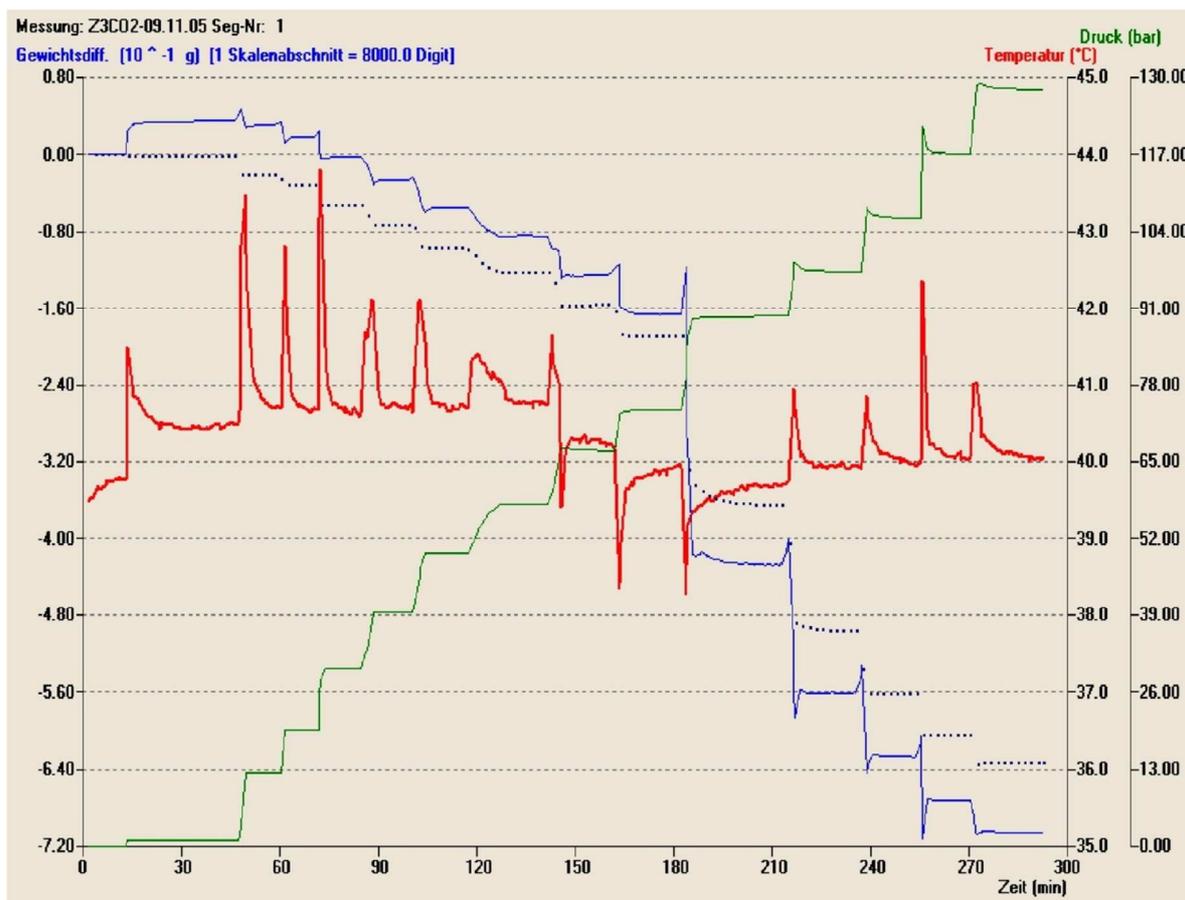


Рисунок 1 – Диаграммы адсорбции CO₂, полученный с помощью приборов магнитных весов «Руботерм» (на цеолите ZeoMax 2110, 40 °C)

Экспериментальные изотермы адсорбции выражаются уравнением изотермы Ленгмюра:

$$a_i = \frac{a_{iw} \cdot k_i c_i}{1 + \sum_{i=1}^3 (k_i \cdot c_i)}, \tag{1}$$

где a_{iw} – предельное значение абсорбированного вещества, k_i – постоянные величины.

Показатели изотермы адсорбции Ленгмюра разных адсорбентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели изотермы адсорбции Ленгмюра разных адсорбентов

Значение величины	Типы адсорбентов		
	ZeoMax 2110	NaX	Природный клиноптилолит
a_{iw}	0,142	0,110	0,138
k_i	0,325	0,256	0,312

Таким образом, математическая модель процесса адсорбции в газовой фазе была построена с использованием данных, полученных в результате эксперимента и обзора литературы.

Математическая модель объединяет следующие уравнения: баланс адсорбционного материала, уравнения теплового баланса и изотерм адсорбции.

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} + \frac{\partial c}{\partial \tau} + w \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \tag{2}$$

$$H \frac{\partial T}{\partial \tau} + wh_q \frac{\partial T}{\partial x} + Q \frac{\partial a}{\partial \tau} = 0, \tag{3}$$



начальные условия

$$\tau = 0; 0 \leq x \leq l; c = 0; a = 0; T = T_q. \quad (4)$$

Граничные условия

$$\tau > 0; x = 0; c = c_0 = \text{const}; a = a(\tau); T = \text{const}. \quad (5)$$

где N – общая теплоемкость адсорбента; h_g – теплоемкость газа; T – температура газа; Q – тепловой эффект сорбции; τ – время; a – количество адсорбата; c – количество адсорбтива в потоке; w – расход газа; a_0, c_0 – начальные концентрации адсорбата и адсорбтива соответственно; D – коэффициент диффузии; x – толщина слоя адсорбента.

Результат

Разработанная математическая модель процесса адсорбции может быть основой для поиска и управления его оптимальным режимом работы в будущем.

Литература:

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М. : Химия, 1984. – 592 с.
2. Bathen D., Breitbach M. Adsorptionstechnik // Springer. – Berlin, 2001. – 341 p.
3. Юсубов Ф.В., Мансуров Э.Ф. Оптимизация процесса выделения диоксида углерода из дымовых газов. «Химия и технология топлив и масел». – 2020. – № 3. – С. 31–33.

References:

1. Keltsev N.V. Fundamentals of adsorption technology. – M. : Chemistry, 1984. – 592 p.
2. Bathen D., Breitbach M. Adsorptionstechnik // Springer. – Berlin, 2001. – 341 p.
3. Yusubov F.V., Mansurov E.F. Optimization of the process of carbon dioxide release from flue gases. «Chemistry and Technology of Fuels and Oils». – 2020. – № 3. – P. 31–33.