

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Введение. В настоящее время происходит интенсивное внедрение прикладных математических методов и ЭВМ в научно-исследовательские работы. Широкое распространение нашло создание математических моделей, увеличение надежности и качества получаемой информации. В процессе научной исследовательской работы возникают трудности, связанные с обработкой информации и прогнозировании. Следовательно, сначала разрабатывается математическая модель рассматриваемого процесса, производится ее оптимизация и в дальнейшем оптимальное проектирование.

В работе [1] рассмотрены адсорбции NO_2 и ее математическое моделирование. На основе механизма химической реакции получена система дифференциальных уравнений. В результате создано кинетическое уравнение процесса разделения. Экспериментально, также изучены газовые компоненты: NO , NO_2 , O_2 . Получены кинетические кривые в различных соотношениях компонентов NO , NO_2 и O_2 . Эксперименты проведены в различных температурах: 150, 300 и 450°C. Полученные экспериментальные данные аппроксимировались вычисленными данными.

В данной работе [2] изучены 3-мерное моделирование выделения NO_x с пористыми материалами.

Получена кинетическая модель процесса. Также разработано полное математическое описание процесса адсорбционного разделения NO_x твердыми поглотителями. Как было известно, процесс выделения NO_x происходит в режиме фильтрации. Рассмотрено разработанное математическое описание прогнозирующие различные виды упаковок твердых

поглотителей. Здесь большое внимание уделяли на упаковки пористых твердых материалов в различных условиях. Однако об оптимизации упаковок с пористыми твердыми материалами ничего не приведено.

Как известно, пористые твердые поглотители в качестве адсорбента решили ряд весьма актуальных задач газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, к числу которых относятся глубокая осушка и тонкая очистка газов от соединений S , H_2S , CO_2 и т.д. Важной областью использования в качестве пористых твердых поглотителей – синтетических цеолитов является также тонкая очистка “осушка многих мономеров и ряда веществ, необходимых для получения новых синтетических материалов”. Эти адсорбенты проявляют высокую поглотительную способность к гидрофильным и гидрофобным веществам, которые адсорбируются ими из газовых смесей с другими компонентами.

Большая поглотительная способность пористых адсорбентов открывает новые возможности для промышленного использования этих поглотителей в различных отраслях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Исследования связанные с получением и применением искусственных цеолитов были начаты Баррером [3]. Сообщения о свойствах синтетических цеолитов, имеющих большой поглотительной емкостью и хорошей селективностью, которые были синтезированы исследователями фирмы Линде (США), были опубликованы в 1956 году и получили наименование цеолитов типа А. В СНГ в области применения цеолитов для адсорбционного выделения н.парафинов и разделения их

на узкие фракции проводятся обширные исследования. В настоящее время цеолиты успешно применяются также для очистки и осушки природных и промышленных газов. Адсорбционная очистка адсорбентами основано на Ван-дер-Ваальсовых межмолекулярных силах. Как известно, природные адсорбенты, имеют высокие пористые структуры. Основные дисперсные материалы обладают капиллярно-пористые материалы и основное количество подлежащей удалению влаги находится внутри пор. Поры адсорбентов имеют древовидную структуру.

В основных твердых пористых адсорбентах, особенно в синтетических цеолитах, пористая структура достаточно более регулярная. Пористая структура синтетических цеолитов анализируется экспериментальным путем. Эксперимент осуществляется с помощью вдавливания в поры адсорбента при различных давлениях. Параметрическим способом определено, что реальные капилляры адсорбентов имеют размеры 10^{-10} до 10^{-4}м .

В массообменных процессах, в частности адсорбционных процессах чистых веществ, при сушке влаги пористых материалов перегретым паром внутри пор адсорбента отсутствует инертная среда. В таких случаях необходимы поправки для значения изменения перепада давления нежелательных компонентов. Когда в тонких порах адсорбента поры с радиусом, меньшим средней длины пробега молекул, тогда внутри адсорбента капилляры не называются сплошной. В таких случаях межмолекулярные силы действуют также над стенками поры адсорбента. Если внутри в порах адсорбента находятся два или более компонентов газа, происходит взаимодействия молекул, в результате чего получается кнудсоновский поток. Нами на основе экспериментальных данных и теоретических предположений разработано математическое описание процесса адсорбционного разделения газовых смесей [4].

Математическая модель процесса глу-

бокой очистки газовых смесей включает в себя следующие уравнения: массообмена адсорбируемого вещества

$$\frac{\partial C_i(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \times \left[r^2 k(C_i) \frac{\partial C_i(r, \tau)}{\partial r} \right], \quad i = 1, 3 \quad (1)$$

теплообмена адсорбируемого вещества

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{C_a} \cdot \frac{1}{r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \alpha_a (T - \theta) + q \frac{\partial C_i}{\partial \tau} \quad (2)$$

кинетики адсорбции

$$\frac{1}{D_i} \cdot \frac{\partial a_i}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial a_i}{\partial r} \right) \quad (3)$$

Здесь B_i – коэффициент диффузии, q – теплота адсорбции, α_a – объемный коэффициент теплоты, λ – коэффициент теплопередачи, T – температура, C_a – тепло емкость адсорбента, r – радиус зерна адсорбента, C – концентрация адсорбтива, a – концентрация адсорбата, θ – текущая температура, τ – время.

Таблица 1
Зависимость коэффициента
 D_i диффузии от времени

№	τ , мин	H_2S	CO_2	NO_x
Коэффициент диффузии $\cdot 10^{-15}, \text{см}^2/\text{мин}$				
1	20	240		178
2	40	202	144	28
3	60	189	116	22
4	80	173	94	19
5	100	154	88	16
6	120	126	57	15
7	140	99	42	13
8	160	68	36	11
9	180	35	25	8
10	200	12	7	3

При проведении практических расчетов, оптимизации и проектировании адсорбционных процессов важную роль иг-

рает расчет значения коэффициентов диффузии. Расчет значения коэффициента диффузии определяется по закону Фика:

$$m = -D_i F \rho \frac{\partial X}{\partial t}$$

где, ρ - плотность, X - концентрация адсорбата, F - поверхность пор адсорбента.

Таблица 2

Численные значения коэффициента диффузии D_i при различных значениях длины неподвижного слоя цеолита (для H_2S)

№	τ , мин	50	100	150
Высота работающего слоя, см ($D_i \cdot 10^{-15}$, см ² /мин)				
1	20	135	240	336
2	40	117	202	314
3	60	97	189	298
4	80	81	173	267
5	100	69	154	230
6	120	54	126	206
7	140	38	99	171
8	160	24	68	114
9	180	11	35	52
10	200	4	12	27

Численные значения коэффициента диффузии D_i в зависимости от времени приведены в таблице 1.

Выводы. Видно, что в зависимости от времени значения коэффициента диффузии D_i изменяется в широких пределах. Исследованы также коэффициенты диффузии D_i при трех значениях длины неподвижного слоя цеолита 50, 100, 150 см. Численные значения коэффициента диффузии D_i при трех значениях длины слоя синтетического цеолита приведены в таблице 2. Из данных таблицы 2 видно, что с повышением длины неподвижного слоя цеолита значение коэффициента диффузии D_i существенно возрастает. Как видно из 3D рис. 8-10 численные значения коэффициента диффузии D_i изменяются в широких пределах 3-240·10⁻¹⁵,

см²/мин. На рисунках 8-10 по оси X - показана время, Y - высоты работающего слоя адсорбента и Z - значения коэффициента диффузии D_i . Численные значения коэффициента диффузии D_i увеличивается в следующей последовательности по компонентам: NO_x, CO₂, H₂S. Самое высокое численное значение коэффициента диффузии D_i имеет H₂S, самый низкий NO_x. Следовательно, по длине неподвижного слоя цеолита также изменяются значения технологических параметров поглощенной компонентами газовых смесей, определяющих оптимальный технологический режим процесса адсорбции. Это, безусловно, необходимо учитывать при проектировании и оптимизации самого промышленно-адсорбционного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Келбаев Г.И., Расулов С.Р. Гидродинамика и массоперенос в дисперсных средах. Санкт-Петербург «Химиздат», 2014, 568 с.
2. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. Москва, 1984, 592с.
3. Кельцев Н.В. Физическая адсорбция из многокомпонентных фаз. М., Наука, 1982, с.30-38.
4. Yusubov F.V., Bayramova A.S. Purification of natural gases from associated components. "European Science and Technology", Materials of the XIII International research and practice conference, April, Munich, Germany 2016, pp.137-139.

Оптимальное проектирование адсорбционного разделения газовых смесей

РЕЗЮМЕ

На основе экспериментальных данных и теоретических предпосылок разработано математическое моделирование процесса адсорбционного разделения газовых смесей. Определены расчетные значения коэффициентов диффузии. На ос-

нове математического моделирования процесса проведено оптимальное проектирование самого промышленно-адсорбционного процесса.

Ключевые слова: адсорбция, оптимизация, газовая смесь, математическая модель, твердые поглотители.

Qaz qarışıqlarının adsorbsiya ayrılması ilə optimal layihələndirilməsi

XÜLASƏ

Ekspirimental məlumatlar və nəzəri şərtlər əsasında qaz qarışıqlarının adsorbsiya ayrılması prosesinin riyazi modelləşdirilməsi işlənilib hazırlanmışdır. Diffuziya əmsallarının hesablanması dəyərləri müəyyən edilmişdir. Prosesin riyazi modelləşdirilməsi əsasında sənaye-adsorbsiya prosesinin özünün optimal layihələndirilməsi aparılmışdır.

Açar sözlər: adsorbsiya, optimallaşdırma, qaz qarışığı, riyazi model, bərk adsorberlər.

УДК 66.081.3

Ф.В. ЮСУБОВ

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
yusufax@mail.ru

АДСОРБЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ЦЕОЛИТАХ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация: В экспериментах использовались ионы тяжелых металлов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} , а также адсорбенты цеолиты А и Y. Адсорбция использованных двухвалентных катионов следует порядку селективности $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+}$. Измеренные данные равновесия коррелируют с изотермой Генри. На адсорбцию цинка pH оказывает лишь незначительное влияние. Кинетика ионного обмена достаточно быстрая для сорбционных процессов, равновесие достигается менее чем за 10 минут.

Ключевые слова: Разделение веществ, тяжелые металлы адсорбция, сточные воды.

Optimal design of adsorption separation of gas mixtures

RESUME

Mathematical modeling of adsorption separation of gas mixtures is developed on the basis of experimental data and theoretical assumptions. The calculated values of the diffusion coefficients are determined. On the basis of mathematical modeling of the process, the optimal design of the industrial adsorption process is carried out.

Key words: adsorption, optimization, gas mixture, mathematical model, solid adsorbents.

Отзыв дал на статью заслуженный деятель науки Азербайджанской Республики профессор кафедры «Нефтехимическая технология и промышленная экология» Аз.ГНУП
Ч.Ш.Ибрагимов.

1. Введение. Тяжелые металлы - это химические элементы, которые естественным образом встречаются в окружающей среде даже без вмешательства человека, а некоторые из них необходимы для жизни в качестве микроэлементов. Растворенные или химически связанные тяжелые металлы представляют угрозу для человека и окружающей среды, когда они попадают в живые организмы через пищевую цепь и накапливаются до уровня, вызывающего вредное воздействие [Табл. 1.1, 27].

Во всем мире растущее время водных ресурсов тяжелых металлов в последние десятилетия вызывает серьезную обеспо-