ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА МЕТОДОМ АДСОРБЦИИ

Нашвандова Гулрухсор Мурот кизи
Ташкентский государственный технический университет
Адрес: Республика Узбекистан, 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2.
E-mail: gnashvandova@gmail.com,
Тел:+998-91-450-34-14,

Аннотация: В статье представлены результат исследование, связанные на повышение энергоэффективности процессов переработки природного газа. В исследовании рассмотрены уравнения материального и теплового баланса, кинетика адсорбции и адсорбционные изотермы, описывающие динамические характеристики процесса осушки газа. Изменение массы в адсорбере, процессы массопереноса и динамика концентрации компонентов в локальном объёме выражены на физико-химической основе. Составлена стехиометрическая матрица, на а снов изменения концентраций химических компонентов. Разработанная математическая модель позволяет определить параметры статического режима работы адсорбера, сущность которого цель заключается в обеспечении стабильности температуры газового потока и максимизации разности температур на входе и выходе адсорбционной колонны, что способствует повышению эффективности процесса адсорбции.

Ключевая слова: процесс адсорбции, энергоэффективность, математическая модель, кинетические уравнения, массообмен, стехиометрическая матрица.

Annotatsiya: Maqolada tabiiy gazni qayta ishlash jarayonlarining energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqot natijalari keltirilgan. Tadqiqotda gazni quritish jarayonining dinamik xususiyatlarini tavsiflovchi moddiy va issiqlik balansi tenglamalari, adsorbsiya kinetikasi hamda adsorbsion izotermalar ko‘rib chiqilgan. Adsorberdagi massa o‘zgarishi, massani ko‘chirish jarayonlari va lokal hajmdagi komponentlar konsentratsiyasi dinamikasi fizik-kimyoviy asosda ifodalangan. Kimyoviy komponentlar konsentratsiyasining o‘zgarishiga asoslangan stexiometrik matritsa tuzilgan. Ishlab chiqilgan matematik model adsorberning statik ish rejimi parametrlarini aniqlash imkonini beradi. Ushbu rejimning mohiyati gaz oqimi haroratining barqarorligini ta’minlash va adsorbsion kolonna kirish va chiqish temperaturesi o‘rtasidagi farqni maksimal oshirishdan iborat bo‘lib, bu esa adsorbsiya jarayoni samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Adsorbsiya jarayoni, energiya samaradorligi, matematik model, kinetik tenglamalar, massalar almashinuvi, stexiometrik matrisa.

ISSN 3030-3907

Abstract: The article presents the results of a study aimed at improving the energy efficiency of natural gas processing. The study examines the material and heat balance equations, adsorption kinetics, and adsorption isotherms that describe the dynamic characteristics of the gas dehydration process. The change in mass within the adsorber, mass transfer processes, and the dynamics of component concentrations in the local volume are expressed on a physicochemical basis. A stoichiometric matrix has been compiled based on the changes in the concentrations of chemical components. The developed mathematical model makes it possible to determine the parameters of the static operating mode of the adsorber. The essence of this mode lies in ensuring the stability of the gas flow temperature and maximizing the temperature difference at the inlet and outlet of the adsorption column, which contributes to improving the efficiency of the adsorption process.

Keywords: adsorption process, energy efficiency, mathematical model, kinetic equations, mass transfer, stoichiometric matrix

Введение

В настоящее время при переработке природного газа уделяется всё большее внимание вопросам энергоэффективности. Современные вычислительные методы, применяемые для очистки промышленного газа, в основном опираются на действующие нормативные документы и стандарты, которые позволяют выполнять расчёты только на основе общих условий [1].

Следует подчеркнуть, что процессы осушки природного газа на основе адсорбционно-десорбционных методов являются одним из этапов, требующих значительных энергозатрат [2]. Для определения рациональных значений параметров технологического режима адсорбционной осушки газа с минимальными энергозатратами необходимо точно сформулировать математическую модель процесса.

Для определения динамических характеристик процесса осушки необходимо разработать его математическую модель, которая позволит найти оптимальные технологические параметры процесса, обеспечивающие минимальное энергопотребление.

При формировании математической модели в качестве основы принимается устойчивое рабочее состояние устройства — то есть его функционирование в стационарном режиме [3]. Прежде всего, целесообразно анализировать процесс адсорбции именно в стационарных условиях. Поэтому при построении модели необходимо учитывать физико-химические изменения, происходящие в процессе, и выражать их с помощью математических соотношений.

В таких случаях динамика адсорбционного процесса описывается системой уравнений, включающей: уравнения материального и теплового

ISSN 3030-3907

баланса, уравнения, отражающие кинетику адсорбции и теплопередачи, а также адсорбционные изотермы, характеризующие состояние равновесия.

Рассмотрим баланс вещества в адсорбере. Количество вещества, поступающего через поверхность dS за промежуток времени $d\tau$, равно Uc·ds·dτ. Количество вещества, выходящего из адсорбера, равно:

$$Uc \cdot ds \cdot d\tau + \frac{\mathrm{d}(Uc \cdot ds \cdot d\tau)}{dx} \quad (1)$$

Изменение массы цеолита в сушилке равно:

$$\frac{\partial(Uc \cdot ds \cdot d\tau)}{\partial x} dx = \frac{\partial(Uc\varepsilon)}{\partial x} ds d\tau dx \quad (2)$$

В локальном объёме изменение количества вещества непосредственно влияет на динамические изменения концентрации вещества в адсорбенте и подвижной фазе [4].

Процесс осушки природного газа адсорбционным методом имеет сложный характер и включает 7 этапов:

$$\begin{gathered} H_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2H_2O; \\ CO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O; \\ COS + 4NaOH \rightarrow Na_2S + 2H_2O + Na_2CO_3; \quad (3) \\ H_2S + NaOH \leftrightarrow NaHS + H_2O; \\ H_2S + Na_2S \leftrightarrow 2NaHS; \\ H_2S + Na_2CO_3 \leftrightarrow NaHS + NaHCO_3; \\ CO_2 + Na_2CO_3 + H_2O \leftrightarrow 2NaHCO_3. \end{gathered}$$

Для построения кинетической модели процесса осушки вводим следующие обозначения:

$$x_1 - H_2S;\ x_2 - NaOH;\ x_3 - Na_2S;\ x_4 - H_2O;\ x_5 - CO_2;\ x_6 - Na_2CO_3;\ x_7 - COS;\ x_8 - NaHS;\ x_9 - NaHCO_3.$$

На основе вышеуказанных обозначений уравнение (3) принимает следующую математическую форму:

$$\begin{gathered} x_1 + 2x_2 \rightarrow x_3 + 2x_4; \\ x_5 + x_2 \rightarrow x_6 + x_4; \\ x_7 + 4x_2 \rightarrow x_3 + 2x_4 + x_6; \quad (4) \\ x_1 + x_2 \leftrightarrow x_8 + x_4; \\ x_1 + x_3 \leftrightarrow 2x_8; \\ x_1 + x_6 \leftrightarrow x_8 + x_9; \\ x_5 + x_6 + x_4 \leftrightarrow x_9. \end{gathered}$$

На этом основании, исходя из закономерностей массопереноса, для процесса осушки природного газа кинетические уравнения можно записать следующим образом:

$$\begin{gathered} \omega_1 = k_1 C_{x_1} C_{x_2}^2; \\ \omega_2 = k_2 C_{x_5} C_{x_2}; \end{gathered}$$

ISSN 3030-3907

$$\omega_3 = k_3 C_{x_7} C_{x_2}^4;$$
$$\omega_4 = k_4 C_{x_1} C_{x_2} - k_5 C_{x_8} C_{x_4}; \quad (5)$$
$$\omega_5 = k_6 C_{x_1} C_{x_3} - k_7 C_{x_8}^2;$$
$$\omega_6 = k_8 C_{x_1} C_{x_6} - k_9 C_{x_8} C_{x_9};$$
$$\omega_7 = k_{10} C_{x_5} C_{x_6} C_{x_4} - k_{11} C_{x_9};$$

здесь: $C_{x_i}, i = \overline{1,9}$ – молярная концентрация компонентов; $k_1 - k_{11}$ – онстанты скоростей химических реакций.

Зависимость изменения количества химических компонентов в процессе осушки $g_{x_i}, i = \overline{1,9}$ можно представить в виде системы уравнений:

$$g_{x_1} = -\omega_1 - \omega_4 - \omega_5 - \omega_6;$$
$$g_{x_2} = -2\omega_1 - 2\omega_2 - 4\omega_3 - \omega_4;$$
$$g_{x_3} = \omega_1 + \omega_3 - \omega_5;$$
$$g_{x_4} = 2\omega_1 + \omega_2 + 2\omega_3 + \omega_4;$$
$$g_{x_5} = -\omega_2 - \omega_7; \quad (6)$$
$$g_{x_6} = \omega_2 + \omega_3 - \omega_6 - \omega_7;$$
$$g_{x_7} = -\omega_3;$$
$$g_{x_8} = \omega_4 + 2\omega_5 + \omega_6;$$
$$g_{x_9} = \omega_6 + 2\omega_7;$$

На основе которой составляется стехиометрических матрица (таблица 1.)

Таблица-1

Матрица стехиометрических коэффициентов

	H_2S	$NaOH$	Na_2S	H_2O	CO_2	Na_2CO_3	COS	$NaHS$	$NaHCO_3$
ω_1	-1	-2	1	2	0	0	0	0	0
ω_2	0	-2	0	1	-1	1	0	0	0
ω_3	0	-4	1	2	0	1	-1	0	0
ω_4	-1	-1	0	1	0	0	0	1	0
ω_5	-1	0	-1	0	0	0	0	2	0
ω_6	-1	0	0	0	0	-1	0	1	1
ω_7	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	2

Данное соотношение называется матрицей стехиометрических коэффициентов и выражает скорость изменения массопереноса [5].

На основе анализа математической модели процесса определены режимные показатели агрегата, характеризующие статический режим работы установки. Основная цель заключается в том, чтобы поддерживать

ISSN 3030-3907

температуру газового потока на высоком уровне стабильности и максимизировать разницу температур на входе и выходе адсорбционной колонны, что направлено на повышение эффективности процесса адсорбции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yon C.M. and Sherman J.D. Adsorption, Gas Separation Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology 1 2003 doi.org/10.1002/0471238961.0104191519080518.a01.pub2.
2. Maksimenko Y. A., Drachevskii S., Drachevskaya N. “Problems of uniform distribution of gas flow in gas drying absorbers when preparing gas for transportation” Vestnik of Astrakhan State Technical University (2020).
3. Marakhimov A.R., Siddiqov I.H., Nasriddinov A., Byun J. –Y. 2015, Lecture Notes in Electrical Engineering 330.
4. Carroll J. Natural gas hydrates: a guide for engineer. – United Kingdom: Gulf Professional Publ., 2020. – 340 p.
5. С.Е.Абрамкин, С.Е. Душин. Моделирование и управление технологическими процессами абсорбционной осушки природного газа//Известия ЮФУ. Технические науки– 2015. УДК 681.51.011

ISSN 3030-3907