

Расчет параметров эксплуатации хемосорбера в процессе очистки отходящих газов

Computation of Chemical Absorber Operation Parameters During Cleaning of Exhaust Gases

Медведева Л.И.

Канд. техн. наук, доцент кафедры ВАЭ, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград
e-mail: lyumed@yandex.ru

Medvedeva L.I.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Automation, Electronics and Computer Engineering Department, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volgograd
e-mail: lyumed@yandex.ru

Факанов П.М.

магистр, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград
e-mail: fuckonoff@mail.ru

Fakanov P.M.

Master's Degree Student, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volgograd
e-mail: fuckonoff@mail.ru

Аннотация

В данной статье поставлена проблема построения качественной автоматизированной системы управления и регулирования процесса очистки отходящих газов методом химической абсорбции; задача создания математической модели данного процесса. Получены необходимые для управления характеристики процесса.

Ключевые слова: технологический процесс, производство, современные технологии, автоматизация, системы автоматизации, хемосорбция, диоксид серы, математическая модель, решение Хафтайзера.

Abstract

This article poses the problem of building a high-quality automated control system and regulation of the exhaust gas purification process by chemical absorption; the task of creating a mathematical model of this process. The process characteristics necessary for control are obtained.

Keywords: technological process, production, modern technologies, automation, automation systems, chemisorption, sulfur dioxide, mathematical model, Haftizer solution.

Для проведения качественной автоматизации процесса и разработки автоматизированной системы необходимо, чтобы объект соответствовал стандартам, имел четкое математическое описание, были определены его

динамические и статические характеристики. Для получения качественной математической модели процесса химической абсорбции при отделении диоксида серы был проведен сравнительный анализ различных типов абсорберов. А для построения системы управления было разработано дифференциальное уравнение.

Компьютерная модель абсорбера разрабатывалась в среде Mathcad. При моделировании были приняты следующие допущения:

- жидкая и газовая фазы движутся в режиме идеального вытеснения;
- насадка хорошо смачивается во всем объеме;
- газ распределяется равномерно по всему сечению колонны;
- рассматривается стационарный режим работы хемосорбера.

Математическая модель представлена дифференциальными уравнениями изменения концентрации поглощаемого компонента в газовой фазе и изменения концентрации реагента в жидкой фазе [1]. Для расчета хемосорбера использовалось решение Хафтайзера.

Местный коэффициент ускорения процесса сорбции представлен формулой [1]:

$$E_i = 1 + \frac{D_B C_{B_i}}{z D_A C_{A_i}^*}.$$

Равновесная концентрация поглощаемого вещества в жидкой фазе:

$$x_{A_i}^* = \frac{P}{E} y_{A_i}.$$

Значения концентраций необходимо выразить в нужной размерности по следующей схеме [2]:

$$C_{A_i} \rightarrow y_{A_i} \rightarrow x_{A_i}^* \rightarrow C_{A_i}^*.$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе определяется по следующей процедуре. Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе β_x находят из обобщенного уравнения для неупорядоченных насадок:

$$Sh'_x = 0,0021 \cdot Re_x^{0,75} Sc_x^{0,5},$$

где $Sh'_x = \frac{\beta_{xF} \delta_{пр}}{D_x}$ – диффузионный коэффициент Нуссельта, число Шервуда.

$$\text{Отсюда: } \beta_{xF} = 0,0021 \cdot \frac{D_x}{\delta_{пр}} \cdot Re_x^{0,75} Sc_x^{0,5}.$$

Средний коэффициент диффузии вещества в растворах:

$$D_x = 7,4 \cdot 10^{-12} \cdot (\beta M)^{0,5} \cdot \frac{T}{\mu_x \nu_{SO_2}^{0,6}},$$

где M – мольная масса воды, кг/моль;

T – температура воды, К;

μ_x – вязкость воды, мПа;

ν_{SO_2} – мольный объем диоксида серы, см³/моль;

β – параметр, учитывающий ассоциацию молекул (для воды $\beta = 2,6$).

Приведенная толщина стекающей пленки жидкости:

$$\delta_{пр} = \left[\frac{\mu_x^2}{\rho_x^2 g} \right]^{1/3}.$$

Модифицированное число Рейнольдса для стекающей по насадке пленки жидкости:

$$Re_x = \frac{4U\rho_x}{a\mu_x}$$

Число Шмидта для жидкости:

$$Sc'_x = \frac{\mu_x}{\rho_x D_x}$$

Выразим β_x в выбранной размерности:

$$\beta'_x = \beta_x \cdot (\rho_x - c_{хсп}),$$

где $c_{хсп} = \frac{c'_{хсп} \cdot \rho_x}{(c'_{хсп} + 1)}$ – средняя объемная концентрация в поглотителе, кгSO₂/(м³·см).

Скорость движения жидкой фазы определяется из условия смачивания всей поверхности насадки (коэффициент смачиваемости насадки равен единице). Минимальная плотность орошения, при которой обеспечивается полная смачиваемость поверхности насадки, равна:

$$U_{\psi_{a=1}} = \frac{a \cdot p}{3600 \cdot (1 - q \cdot a)} = v_{жс} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Скорость движения газовой фазы в колонне определяется из уравнения [3]:

$$\lg \left[\frac{v_z^2 \cdot \rho_z}{g \cdot d_z \cdot \varepsilon^2 \cdot \rho_{жс}} \left(\frac{\mu_{жс}}{\mu_z} \right)^{0.16} \right] = A - B \cdot \left(\frac{v_z}{v_{жс}} \right)^{1/4} \left(\frac{\rho_z}{\rho_{жс}} \right)^{0.375}$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе и средний коэффициент диффузии вещества в растворах рассчитывались по формулам, приведенным в литературных источниках [4]. Характеристики насадки A , B , a , p и q взяты из справочных данных [3, 4].

Гидравлическое сопротивление насадки определяется по уравнению [4]:

$$\Delta P_{ор} = \Delta P_{сух} \cdot 10^{b \cdot U} = 4,398 \text{ Па.}$$

Сопротивление сухой насадки равно:

$$\Delta P_{сух} = \lambda_c \frac{H}{d_z} \cdot \frac{\rho_z v^2}{2} = 10,851 \text{ Па.}$$

Для определения концентрации сернистых соединений в поглотителе была проведена интерполяция табличных данных по двум переменным: температура системы, парциальное давление сернистых соединений над водным раствором [5].

Геометрические размеры колонного массообменного аппарата определяются в основном поверхностью массопередачи, необходимой для проведения данного процесса, и скоростями фаз.

Поверхность массопередачи может быть найдена из основного уравнения массопередачи:

$$F = \frac{M}{K_x \cdot \Delta \bar{X}_{cp}} = \frac{M}{K_y \cdot \Delta \bar{Y}_{cp}} = 1800 \text{ м}^2,$$

где M – количество вещества, переходящее из газовой смеси в жидкую фазу в единицу времени, или нагрузка аппарата, кг/с;

K_x ; K_y – коэффициенты массопередачи соответственно по жидкой и газовой фазам, кг/(м²·с);

$\overline{\Delta X}_{cp}; \overline{\Delta Y}_{cp}$ – средняя движущая сила процесса абсорбции по жидкой и газовой фазам соответственно, кг/кг.

$$H_n = \frac{F}{0,785 \cdot \alpha \cdot D^2 \cdot \varphi_\alpha} = 1,48,$$

где F – поверхность массопередачи, 1800 м²;

α – удельная поверхность насадки, 140 м²/м³;

D – диаметр абсорбера, 1,2 м;

φ_α – доля активной поверхности.

Высота абсорбера определяется по формуле:

$$H_a = H_n + 1,05D = 4 \text{ м.}$$

Расстояние между днищем абсорбера и насадкой определяется необходимостью равномерного распределения газа по поперечному сечению колонны. Обычно это расстояние принимают равным 1-1,5D [6].

Диаметр абсорбера находится по уравнению объемного расхода:

$$D = \sqrt{\frac{4V'_0}{\pi \cdot W}} = 2,4 \text{ м ,}$$

где V'_0 – объемный расход природного газа при условиях в абсорбере, м³/с;

W – рабочая скорость газа в насадочном абсорбере, м/с.

Выводы: результатом приведенной выше части математической модели являются данные, необходимые для построения системы автоматизированного управления процессом хемосорбции, для стандартизации параметров процесса хемосорбции и создания качественной системы регулирования.

Литература

1. Данквертс П.В. Газожидкостные реакции. Пер. с англ. – М.: Химия, 1973. – 296 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической техно-логии : учебник для вузов / А. Г. Касаткин .— Стер. изд., перепечат-ка с девятого изд., 1973 г. — М. : Альянс, 2014 .— 750 с.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. под ред. Ю.И. Дытнерского, 2-е изд., переаб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
4. Рамм В.М. Абсорбция газов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
5. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб: Химия, 1991. – 432с.
6. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.:Химия, 1987. - 576 с.