(cc) BY

Пикулин Юрий Георгиевич
канд. техн. наук, доцент
Джамалудинов Рустам Гасан-Кадиевич
аспирант
ФГБОУ ВО «Московский государственный
машиностроительный университет (МАМИ)»
г. Москва

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ХЕМОСОРБЕНТА

Аннотация*: в статье приведено уравнение для расчёта количества десорбированного из раствора хемосорбента диоксида углерода в зависимости от параметров процесса регенерации, показано сравнение расчётных и экспериментальных данных.*

Ключевые слова*: очистка газа, диоксид углерода, энергозатраты, расход раствора, абсорбционная ёмкость, регенерация, десорбция.*

Целью работы является разработка рекомендаций по снижению приведенных затрат на стадии хемосорбционной очистки промышленных газов от диоксида углерода.

Преимуществом циркуляционных методов является снижение расхода абсорбента. Однако при этом возрастает расход энергии и усложняется аппаратурно-технологическое оформление процесса. На рис. 1 представлена технологическая схема однопоточной циркуляционной установки очистки газа от диоксида углерода.

Поглощение CO_2 с помощью хемосорбента, например, моноэтаноламина (МЭА) сопровождается протеканием обратимых химических реакций:

$$2RNH_2 + H_2O + CO_2 \leftrightarrow (RNH_3)_2CO_3 + Q_1, \quad (1)$$

$$(RNH_3)_2CO_3 + H_2O + CO_2 \leftrightarrow 2RNH_3HCO_3 + Q_2 \quad (2)$$

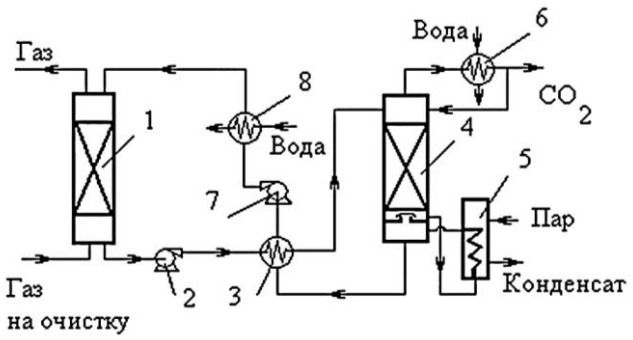

Рис. 1. Схема однопоточной циркуляционной установки:

1 – абсорбер 2,7 – насосы 3 – теплообменник 4 – регенератор

5 – кипятильник 6 – дефлегматор 8 – холодильник

Для регенерации необходимо подвести количество теплоты, которое можно определить из уравнения теплового баланса:

$$Q = Q_{дес} + Q_{н} + Q_{отд}, \quad (3)$$

где $Q_{дес}$ – теплота, необходимая для десорбции CO_2 (численно равная теплоте абсорбции ΔH), $Q_н$ – теплота, необходимая для нагревания раствора до температуры регенерации, $Q_{отд}$т – теплота, затраченная на образование отдувочного пара при отгонке CO_2.

Тепловые потери в балансе не указаны, т.к. они снижаются за счёт теплоизоляции применяемой аппаратуры и коммуникаций.

Количество десорбированного CO_2 из раствора хемосорбента может быть определено следующим образом:

$$G = L \cdot (X_1 - X_2), \quad (4)$$

где L – расход раствора, X_1 и X_2 – концентрация CO_2 в растворе на входе в регенератор и на выходе из него, соответственно.

Разделив и левую, и правую часть уравнения (3) на величину G, получим удельные величины, соответственно, десорбции – $q_{дес}$, нагревания раствора – $q_н$ и отдувки – $q_{отд}$. И тогда уравнение (3) можно записать в виде [1]:

$$q = q_{дес} + q_{н} + q_{отд} = \Delta H + \frac{C_p \cdot \Delta t_{кип}}{\Delta X} + r_2 \Phi_2 \ , \quad (5)$$

где $C_р$ – теплоёмкость раствора, ΔX – абсорбционная ёмкость раствора, $\Delta t_{кип}$ – разность температур кипения раствора на выходе и входе в аппаратуру, r_2, Φ_2 –

теплота парообразования воды и флегмовое число при температуре регенерации, соответственно.

Предварительный анализ зависимости Q от таких параметров процесса как температура, давление, расход раствора, показывает, что практически при увеличении каждого из перечисленных параметров происходит пропорциональное увеличение расхода теплоты. С целью выбора рациональных значений параметров технологического режима для снижения энергоёмкости процесса очистки газа от диоксида углерода была выполнена обработка ранее полученных экспериментальных данных на опытно-промышленной установке [2], схема которой приведена на рис.1. Было получено уравнение для расчёта количества десорбированного CO_2 от параметров процесса регенерации:

$$G = 1{,}02 \cdot \left(18{,}07 \cdot \frac{L}{L_0} + 184 \cdot \frac{t_p}{t_0} - 210{,}8\right) \cdot \left(\frac{P_p}{P_0}\right)^{\left(0{,}847 - 0{,}294 \cdot \frac{L}{L_0} - 1{,}496 \cdot \frac{t_p}{t_0}\right)}, \qquad (6)$$

где $\frac{L}{L_0}$; $\frac{P_p}{P_0}$; $\frac{t_p}{t_0}$ – относительные безразмерные величины;

t_p, t_0 – температура регенерации и стандартная температура, соответственно;

P_p, P_0 – давление регенерации и стандартное давление, соответственно;

Обработка выполнена методом наименьших квадратов, коэффициент корреляции составляет 0,968.

Работоспособность и применимость уравнения (6) проиллюстрирована на рис. 2 (при t_p= 115 ^oC) и рис. 3 (t_p= 120 ^oC) с приведением отдельных экспериментальных значений. Расчёты проводись с использованием пакета программ LabVIEW 2012.

Таким образом, в результате выполненной обработки экспериментальных данных для опытно-промышленной установки получено уравнение для расчёта количества десорбированного CO_2, что позволит рассмотреть зависимости удельных затрат теплоты от каждого конкретного параметра технологического процесса в отдельности.

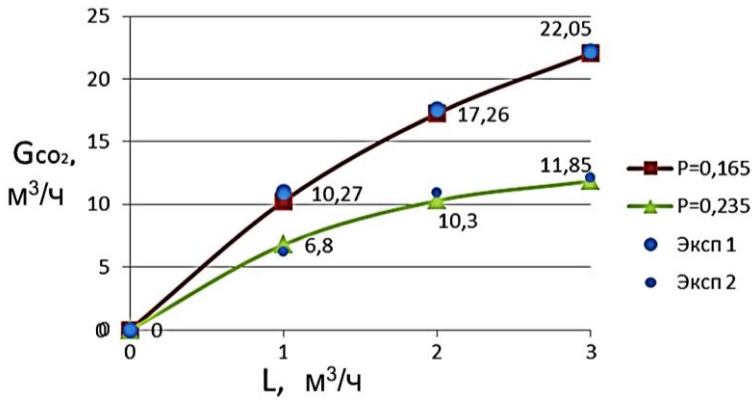

Рис. 2

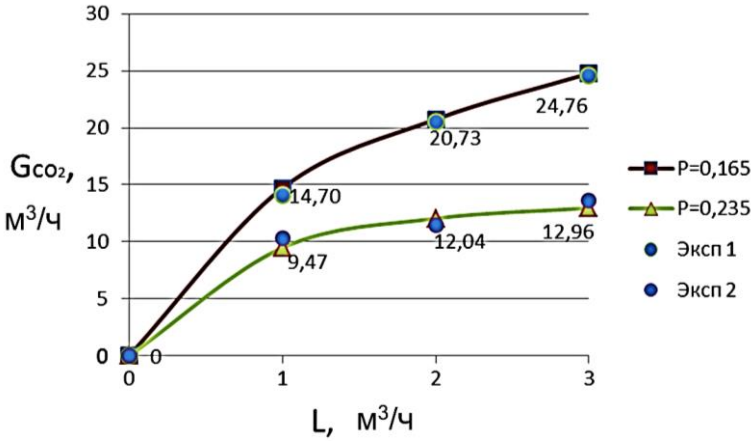

Рис. 3

Список литературы

1. Очистка технологических газов / Под ред. Т.А. Семеновой; И.Л. Лейтеса. – М.: Химия, 1977. – 488 с.

2. Бондарева Т.И., Пикулин Ю.Г. Утилизация диоксида углерода в промышленности // Экология и промышленность России. – №1. – 2003. – С. 38–40.