

10. Prymyska S., Beznosyk Yu., Reschetilowski W., Räuchle K. and Toufar H. Simulation the behaviour of the dynamic adsorption of NO_x over synthetic zeolites // АСHEMA – Frankfurt am Main – 11-15. Mai (2009).
11. Statyukha G., Prymyska S., Beznosyk Yu., Reschetilowski W. Studies of carbon dioxide and nitrogen monoxide removal from exhaust gas through adsorption on molecular sieves. CHISA2010. - Prague, Czech Republic, 28 August – 1 September 2010.

УДК 66.081:542.74

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ХЕМОСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВИКИДНИХ ГАЗІВ ВІД ОКСИДУ СУЛЬФУРУ

Гумницький Я.М., Нагурський О.А., Симак Д.М.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХЕМИСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКИСИ СЕРЫ

Гумницкий Я.М., Нагурский О.А., Сымак Д.М.

MODELING THE PROCESS OF EXHAUST GASES TREATMENT FROM SULFUR OXIDE

Gumnitsky Ya., Nagursky O., Symak D.

Національний університет «Львівська політехніка»
м. Львів, Україна,
jgumnitsky@ukr.net

Розглянуто процес очищення викидних газів від оксиду сульфуру, який належить до токсичних сполук, що у великих кількостях викидаються до атмосфери та спричиняють її глобальне забруднення. Основним показником є ступінь очищення газу, для якої складено математичні моделі для трьох процесів: фізичної абсорбції, хемосорбції у трифазній системі з постійною та змінною поверхнею твердого сорбента.

Ключові слова: хемосорбція, оксид сульфуру, математичні моделі, ступінь очищення

Рассмотрен процесс очистки отходящих газов от окиси серы, которая принадлежит к токсическим соединениям, выбрасываем в атмосферу в больших количествах и обуславливать ее глобальное загрязнение. Основным показателем является степень очистки газа, для которой составлено математические модели для трех процессов: физической абсорбции, хемосорбции в трехфазной системе с постоянной и переменной поверхности твердого сорбента.

Ключевые слова: хемосорбция, окись серы, математические модели, степень очистки

The process of exhaust gases treatment from sulfur oxide, which belongs to the toxic compounds in large amounts are emitted into the atmosphere and cause global contamination of it was discovered. The main indicator is the degree of purification of gas for which the mathematical models for the three processes, physical absorption, chemisorption in a three-phase system with constant and variable solid sorbent surface were composed.

Keywords: chemisorption, sulfur oxide, mathematical models, the degree of purification.

Постановка проблеми

Антропогенне забруднення атмосферного повітря спричиняється виробничою діяльністю промислових та енергетичних підприємств, транспорту. У світовому масштабі найбільша частка газових забруднень припадає на енергетику (~ 27%). Енергогенеруючі підприємства використовують як паливо в основному кам'яне вугілля, у склад якого входить сульфур та його сполуки. Концентрація цих сполук знаходиться у границях 1-3%. Під час спалювання вугілля утворюється оксид сульфуру(IV), який з утвореним газом викидається до атмосфери. Викиди SO₂ є надзвичайно шкідливими. Їх наявність в атмосфері спричиняє виникнення кислотних дощів, що належить до глобальних проблем забруднення атмосфери, як багатоатомний газ відноситься до сполук, що спричиняє парниковий ефект, є причиною появи зимового (Лондонського) смогу. Концентрація цього газу у всьому світі нормується, тому необхідно газові викиди очищати від оксиду сульфуру(IV). Основним параметром очищення газового середовища перед викидом до атмосфери є ступінь очищення η , що визначається співвідношенням

$$\eta = \frac{y_n - y_k}{y_n}, \quad (1)$$

де y_n, y_k - початкова та кінцева концентрація SO₂ у газовій суміші, кг/м³.

Кінцева концентрація не повинна перевищувати концентрації, що встановлюється гранично допустимим викидом. Існують різні методи очищення газових систем [1].

Мета роботи

Мета роботи полягає у математичному моделюванні процесу очищення на основі використання методу фізичної абсорбції, хемосорбції з використанням твердого сорбенту у трифазній системі. В останньому випадку моделювався процес очищення за умови підтримування постійної поверхні твердої фази та її зменшення під час проведення хемосорбції.

Наведені моделі стосуються попередньо проведених експериментальних досліджень [2].

Аналіз досліджень

Процес фізичної абсорбції описується рівнянням матеріального балансу та кінетичним рівнянням:

$$\begin{cases} V_c (-dy) = W \frac{dC}{dt} \\ \frac{dM}{dt} = \beta_L F_L (C_{GP} - C) \end{cases}, \quad (2)$$

у яких M – маса абсорбованого SO₂ у рідинній фазі; C_{GP}, C - концентрації, відповідно, на границі розділу фаз газ – рідина та в об'ємі рідини, кг/м³; F_L – поверхня газової фази у рідині, м²; β_L – коефіцієнт масовіддачі у рідинній фазі, м/с.

Розділивши кінетичне рівняння на W , одержимо $\frac{dM}{dW} = dC$; $\frac{F_L}{W} = \sigma_L$ – питома поверхня контакту газової та рідинної фаз, м²/м³. Рішення системи (2) дозволяє встановити зміну концентрації SO₂ у рідинній фазі

$$C = C_{ГР} \left(1 - e^{-\beta_L \sigma_L t}\right) \quad (3)$$

Визначивши з рівняння матеріального балансу y_k одержимо залежність для знаходження ступеня очищення газової суміші η_ϕ від SO_2 фізичною абсорбцією:

$$\eta_\phi = \frac{\beta_L \sigma_L}{y_n} \frac{W}{V_C} C_{ГР} e^{-\beta_L \sigma_L t} \quad (4)$$

Відношення $\frac{W}{V_C} = t_n$ означає час перебування газової суміші у рідині, значення $\beta_L \sigma_L t = \tau_L$ – безрозмірний час фізичної абсорбції. Отже,

$$\eta_\phi = \frac{\beta_L \sigma_L}{y_n} t_n e^{-\tau_L} \quad (5)$$

Введення в систему твердого реагенту дозволяє зменшувати концентрацію утворюваної фізичною абсорбцією сульфитної кислоти за рахунок дифузійно-контрольованої хімічної взаємодії між кислотою та кальцію карбонатом.

Загальна швидкість зміни концентрації SO_2 із врахуванням хімічної взаємодії з твердим сорбентом буде визначатись як різниця між швидкістю фізичної абсорбції та швидкістю реакції з твердою речовиною

$$\frac{dC}{dt} = \beta_L \sigma_L (C_{ГР} - C) - \beta_S \sigma_S C, \quad (6)$$

де β_S – коефіцієнт масовіддачі від рідини до поверхні твердої фази, м/с; $\sigma_S = \frac{F_S}{W}$ – питома поверхня твердої фази, мг/м³; F_S - загальна поверхня твердих частинок, м².

Оптимальному режимові поглинання SO_2 буде відповідати умова $\frac{dC}{dt} = 0$:

$$\beta_L \sigma_L (C_{ГР} - C) = \beta_S \sigma_S C, \quad (7)$$

Залежності (6) – (7) передбачають підтримування постійної поверхні твердої фази, що можливе за умови подавання подрібненого кальцію карбонату у трифазну систему.

Ввівши співвідношення $\chi = \frac{\beta_S \sigma_S}{\beta_L \sigma_L}$, одержимо рішення рівняння (6), яке для ступеня очистки газу з хімічною реакцією у твердій фаз має вид

$$\eta_{хем} = \frac{\beta_L \sigma_L}{H} t_n \left\{ \frac{1}{1 + \chi} \left[\chi + e^{-(1+\chi)\tau_f} \right] \right\}, \quad (8)$$

де H – константа Генрі.

Якщо прийняти оптимальні умови поглинання, за яких $\frac{dC}{dt} = 0$, ступінь очищення може бути визначена за залежністю

$$\eta_{хем} = \frac{\chi}{1 + \chi} \quad (9)$$

У випадку очищення невеликих витрат газу, забрудненого SO₂, доцільно вносити твердий сорбент періодично. У цьому випадку його питома поверхня σ_s буде зменшуватись у відповідності з залежністю

$$\sigma_s = \sigma_{s0} \varphi^2, \quad (10)$$

де σ_{s0} – початкова питома поверхня твердого сорбенту; $\varphi = \frac{d}{d_0}$ – відносний розмір твердої фази.

Рівняння (6) прийме вид

$$\frac{dC}{d\tau_f} = (C_{GP} - C) - \chi\varphi^2 C. \quad (11)$$

Доповнивши рівняння кінетики матеріальним балансом

$$M_c t = n(G_0 - G) + WC, \quad (12)$$

де M_c – маса SO₂, що реагує в одиницю часу; G_0 – початкова маса сорбенту; G – маса сорбенту у момент часу t ; n – стехіометричний коефіцієнт; можемо одержати систему рівнянь, які описують процес поглинання SO₂ у трифазній системі зі змінною поверхнею твердої фази. Дана система має вид:

$$\begin{cases} \frac{dq}{d\tau_f} = (1 - q) - \chi\varphi^2 q; \\ \tau_f (1 - q) = \lambda(1 - \varphi^3) + q \end{cases}. \quad (13)$$

Одержана система рішалась комп'ютерним моделюванням. Значення $(1 - q)$ представляє ступінь очищення η для систем зі змінним значенням поверхні твердого сорбенту.

У роботі наведено графічні залежності ступеня очищення η для наведених трьох випадків очищення газу від оксиду сульфуру.

Висновки

1. Наведено математичні моделі та їх комп'ютерне рішення для процесу фізичної абсорбції та хемосорбції оксиду сульфуру з метою очищення викидних газів перед їх викидом до атмосфери.

2. Визначено ступені очищення для трьох випадків та показано вплив твердої фази на процес очищення.

Література

1. Михайленко Г.Г. Защита воздушного бассейна от оксидов серы / Г.Г. Михайленко, Д.В. Миронов, И.Я. Сигал // Одесса: Астропринт, 2001.- 84с.

2. Гумницкий Я.М. Теоретический анализ процесса хемосорбционного поглощения газов в трехфазной системе / Я.М. Гумницкий, Х.О. Дерейко // Теор. основы хим. технологии. – М., 2007. – Т.41, №4 – С.365-370.