

У роботі наведені результати досліджень математичної моделі апарату нейтралізації у виробництві аміачної селітри, отриманої на основі теорії реологічних перетворень. Показано, що сталі часу є функціями контролюючих технологічних параметрів і визначають характер перехідного процесу

Ключові слова: математична модель, нейтралізація, аміачна селітра, стала часу

В работе приведены результаты исследования математической модели аппарата нейтрализации в производстве аммиачной селитры, полученной на основе теории реологических преобразований. Показано, что постоянные времени являются функциями контролируемых технологических параметров и определяют характер переходного процесса

Ключевые слова: математическая модель, нейтрализация, аммиачная селитра, постоянная времени

The results of researches of mathematical model of the neutralization apparatus in the production of ammoniac nitre are given on the basis of the theory of rheological transformations. It is shown that the time constants are the functions of controlling technological parameters and determine character of transient

Key words: mathematical model, neutralization, ammoniac nitre, transient

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АПАРАТУ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ

О.І. Проказа

Асистент*

Контактний тел.: (06452) 5-11-68, 095-549-59-60

E-mail: ElenaProkaza@ukr.net

О.В. Поркуян

Доктор технічних наук, доцент, директор**

Контактний тел.: (06452) 4-03-42

E-mail: nauka@sti.lg.ua

Й.І. Стенцель

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедру*

Контактний тел.: (06452) 2-90-13

E-mail: nauka@sti.lg.ua

*Кафедра комп'ютерно – інтегрованих систем управління**

**Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля пр. Радянський, 59-а, м. Сєвєродонецьк, Україна, 93400

Постановка проблеми

Сучасні хіміко-технологічні процеси відрізняються складністю і великою швидкістю протікання, а також чутливістю до відхилення режимних параметрів від нормальних значень. При протіканні технологічного процесу нейтралізації азотної кислоти у виробництві аміачної селітри контролю підлягають такі технологічні параметри як витрати F теплових і матеріальних потоків, температура T перетворення речовин, рівень L для забезпечення загального матеріального балансу, тиск P , концентрації Q і деякі інші. Як правило, більшість технологічних параметрів є взаємопов'язаними.

Наприклад, температура $T=f(F,P,L,Q)$, тиск $P=f(F,T,L)$, рівень $L=f(F,P,T)$, концентрація рідинних середовищ $Q=f(F,T,L)$. Так як всі технологічні процеси є динамічними і протікають у часі, то їх вихідні координати, такі як температура, тиск, рівень і концентрації, теж є функціями часу. Перехідні процеси для апарату нейтралізації, як правило, є аперіодичними,

але при певних умовах (близьких до критичних) можуть мати й коливальний характер.

Експериментальні дослідження показали, що при технологічних параметрах рівних і нижчих від регламентних значень, технологічний процес є цілком керованим. Але такий режим роботи апарату є неефективним, так як розчин аміачної селітри є неякісним.

Аналіз попередніх досліджень

З метою виявлення параметрів, які б доповнювали систему контролю технологічного процесу нейтралізації азотної кислоти аміаком, хімічні перетворення, які мають місце в апараті нейтралізації, описувалися з точки зору одночасного переносу імпульсу кількості маси, руху і теплової енергії [1, 2]. У результаті отримано диференціальне рівняння другого порядку, яке описує процес тепло- і масопереносу речовин і хімічного перетворення у наступному вигляді

$$\tau_2^2 \frac{d^2Q}{dt^2} + \tau_1 \frac{dQ}{dt} + Q = kQ_0, \tag{1}$$

де Q – концентрація розчину аміачної селітри на виході з апарату нейтралізації; Q_0 – теоретичне значення максимальної концентрації аміачної селітри в розчині; τ_1, τ_2 – сталі часу; k – коефіцієнт реологічного перетворення.

Коефіцієнт k для азотної кислоти й аміаку, визначених технологічним регламентом, близький до одиниці. Сталі часу τ_1 і τ_2 визначають характер процесу нейтралізації азотної кислоти аміаком і є функціями таких контролюючих параметрів як масова витрата F_{CM} стоку розчину аміачної селітри, об'єм V реагуючої маси в апараті й температура T_p реакції. Для того, щоби технологічний процес нейтралізації проходив в оптимальному режимі, при якому вихід розчину аміачної селітри був би максимальним з концентрацією близькою до Q_0 , достатньо стабілізувати й вести контроль за сталими часу τ_1 і τ_2 , які є взаємопов'язаними. Якщо контроль процесу ведеться за масовими витратами азотної кислоти та аміаку, то сталі часу описуються наступними рівняннями [2]:

$$\tau_1 = L \frac{S_p \cdot \rho_c}{\left(\frac{F_{km} \cdot Q_k + F_{AM}}{Q_c} \right)} \cdot \left\{ \theta_0 \cdot \frac{\left(\frac{F_{km} \cdot Q_k + F_{AM}}{Q_c} \right) + L \cdot S_p \cdot \rho_c \cdot K_0 \cdot \exp(-E/R \cdot T_p)}{L \cdot S_p \cdot \rho_c} - 1 \right\}; \tag{2}$$

$$\tau_2 = L \cdot S_p \cdot \rho_c \cdot \sqrt{\frac{k_t}{\left(\frac{F_{km} \cdot Q_k + F_{AM}}{Q_c} \right) \cdot \left\{ \left(\frac{F_{km} \cdot Q_k + F_{AM}}{Q_c} \right) + L \cdot S_p \cdot \rho_c \cdot K_0 \cdot \exp(-E/R \cdot T_p) \right\}}}}; \tag{3}$$

де S_p – реакційна поверхня; L – рівень реакційної маси; ρ_c – густина розчину аміачної селітри; θ_0 – час перенесення кількості маси реагуючих компонентів (азотної кислоти й аміаку); k_t – стала; $\Omega = K_0 \exp(-E/RT_p)$ – рівняння швидкості реакції, де K_0 – коефіцієнт швидкості хімічного перетворення, E – енергія активації, R – універсальна газова стала, T_p – температура реакції, K ; $F_{CM} = \frac{F_{km} \cdot Q_k + F_{AM}}{Q_c}$ – рівняння стоку аміачної селітри, де F_{km}, F_{AM} – масові витрати азотної кислоти й аміаку відповідно, Q_k – концентрація азотної кислоти, Q_c – концентрація аміачної селітри. Сталі часу є функціями витрат основних матеріальних потоків, їх густини, температури реакції, рівня реакційної маси в апараті і можна їх прийняти за деякі узагальнюючі параметри, котрі доцільно використати як доповнюючі для контролю процесу нейтралізації.

Мета статті

Метою статті є дослідження математичної моделі апарату нейтралізації у виробництві аміачної селітри, отриманої на основі теорії реологічних перетворень. Так як математична модель процесу нейтралізації другого порядку, то характер перехідного процесу за концентрацією розчину аміачної селітри формально

може бути аперіодичним (при $\tau_1/\tau_2 > 2$), критичним (при $\tau_1/\tau_2 = 2$) і коливальним (при $\tau_1/\tau_2 < 2$).

Задача полягає в тому, щоби визначити характер зміни сталих часу процесу нейтралізації при відхиленнях основних впливових параметрів технологічного процесу та яким чином вони впливають на якісні показники розчину аміачної селітри. З цією метою потрібно виконати наступне:

1. За формулами (2) та (3) визначити сталі часу τ_1 і τ_2 в залежності від зміни таких контролюючих параметрів як рівень L ($\tau_1 = f(L)$ і $\tau_2 = f(L)$), масова витрата аміаку F_{AM} ($\tau_1 = f(F_{AM})$ і $\tau_2 = f(F_{AM})$), масова витрата азотної кислоти F_{km} ($\tau_1 = f(F_{km})$ і $\tau_2 = f(F_{km})$), концентрація азотної кислоти ($\tau_1 = f(Q_k)$ і $\tau_2 = f(Q_k)$), температура реакції T_p ($\tau_1 = f(T_p)$ і $\tau_2 = f(T_p)$).

2. Знайти відношення сталих часу $\frac{\tau_1}{\tau_2} = f(Y_i)$, де Y_i - змінний параметр, як функцію змінних технологічних параметрів для всіх значень відхилень цих параметрів.

3. Визначити сталі часу τ_1 і τ_2 при номінальних, мінімальних та максимальних значеннях технологічних параметрів.

4. Знайти відношення τ_1/τ_2 при номінальних, мінімальних і максимальних значеннях технологічних параметрів.

Виконати аналіз результатів теоретичних досліджень.

Виклад основного матеріалу

При розрахунку сталих часу всі технологічні параметри окрім змінних були прийняті рівними номінальним значенням. Розрахунок сталих часу виконаний при наступних відхиленнях змінних:

- рівень: від $0,8L_H$ до $1,2L_H$ з інтервалом $\Delta L = 0,1 <$;
- масова витрата аміаку: від $0,8F_{AMH}$ до $1,2F_{AMH}$ з інтервалом $\Delta F_{AM} = 0,02 \frac{кг}{с}$;
- масова витрата азотної кислоти: від $0,8F_{kmH}$ до $1,2F_{kmH}$ з інтервалом $\Delta F_{km} = 0,1 \frac{кг}{с}$;
- концентрація азотної кислоти від $0,8Q_k$ до $1,2Q_k$ з інтервалом $\Delta Q_k = 0,02$;
- температура реакції: від $147^\circ C$ до $167^\circ C$ через кожні $2^\circ C$.

На рис. 1 показані залежності сталих часу від зміни рівня розчину аміачної селітри в апараті нейтралізації. З рисунків видно, що збільшення рівня реакційної маси в апараті нейтралізації приводить до зростання сталих часу та їх відношення. Причому залежність $\tau_1 = f(L)$ є явно нелінійною. Відношення сталих часу може змінюватися від 0,42 до 10,69. Це говорить про те, що при стабілізації рівня розчину аміачної селітри за допомогою автоматичної системи регулювання від значення цього відношення буде залежати характер перехідного процесу.

На рис. 2 показані залежності сталих часу від зміни масової витрати аміаку. При збільшенні масової витрати аміаку сталі часу зменшуються нелінійно. Відно-

шення сталих часу може змінюватися від 1,90 до 11,96. Це говорить про те, що при автоматичній стабілізації витрати аміаку від значення цього відношення буде залежати характер перехідного процесу.

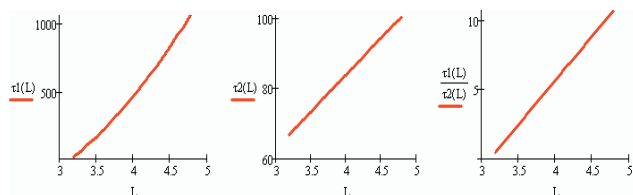


Рис. 1. Графіки залежності від рівня: а) сталої часу τ_1 ; б) сталої часу τ_2 ; в) відношення сталих часу

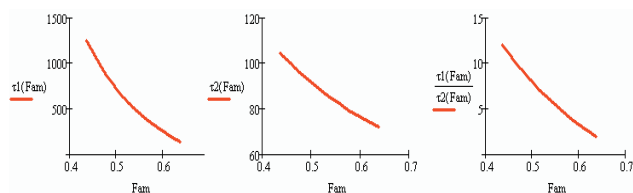


Рис. 2. Графіки залежності від витрати аміаку: а) сталої часу τ_1 ; б) сталої часу τ_2 ; в) відношення сталих часу

На рис. 3 та 4 показані залежності сталих часу від зміни масової витрати азотної кислоти та концентрації азотної кислоти. При збільшенні масової витрати азотної кислоти та концентрації кислоти сталі часу зменшуються практично лінійно. Відношення сталих часу є більше двох, що свідчить про те, що при автоматичній стабілізації витрати та концентрації азотної кислоти перехідні процеси за концентрацією розчину аміачної селітри матимуть аперіодичний характер.

На рис. 5 показані залежності сталих часу від зміни температури реакції в апараті нейтралізації. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що при збільшенні температури реакції стала часу τ_1 збільшується нелінійно, а стала часу τ_2 практично не залежить від температури реакції. Відношення сталих часу при збільшенні температури може змінюватися від 0,59 до 61,85 і збільшується практично за параболічним законом, що свідчить про те, що по-перше, температура чинить суттєвий вплив на керованість технологічного процесу і, по-друге, при автоматичній стабілізації температури реакції від цього буде залежати характер перехідного процесу за концентрацією розчину аміачної селітри.

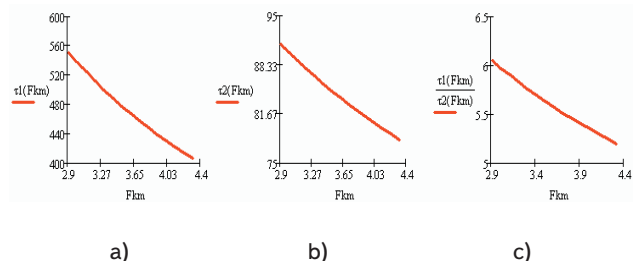


Рис. 3. Графіки залежності від витрати азотної кислоти: а) сталої часу τ_1 ; б) сталої часу τ_2 ; в) відношення сталих часу

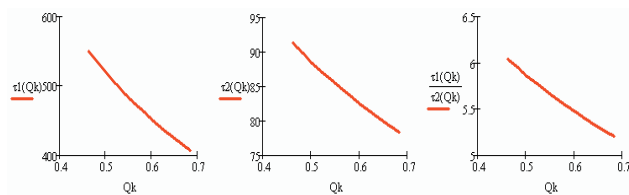


Рис. 4. Графіки залежності від концентрації кислоти: а) сталої часу τ_1 ; б) сталої часу τ_2 ; в) відношення сталих часу

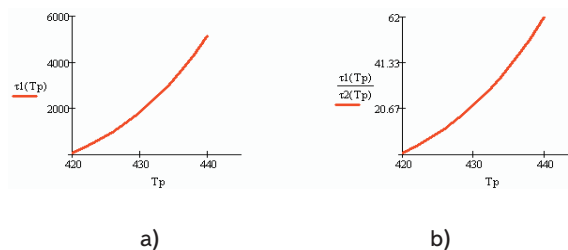


Рис. 5. Графіки залежності від температури реакції: а) сталої часу τ_1 ; б) відношення сталих часу

Як видно з рис. 1 – 5, сталі часу при збільшенні одних технологічних параметрів (рівня і температури) зростають, в той час як при збільшенні інших (масових витрат азотної кислоти і аміаку, концентрації азотної кислоти) зменшуються. У зв'язку з цим характерними є перехідні процеси апарату нейтралізації за концентрацією розчину аміачної селітри при мінімальних і максимальних значеннях сталих часу. Для отримання мінімальних значень сталих часу необхідно щоби рівень реакційної маси і температура реакції були мінімальними, а масові витрати азотної кислоти й аміаку та концентрація азотної кислоти – максимальними, а для отримання максимальних значень сталих часу необхідно щоби рівень реакційної маси і температура реакції були максимальними, а масові витрати азотної кислоти й аміаку та концентрація азотної кислоти – мінімальними.

Висновки

Процес нейтралізації визначається сталими часу τ_1 і τ_2 , які є функціями контролюючих технологічних параметрів.

Характерними є перехідні процеси апарату нейтралізації за концентрацією розчину аміачної селітри при мінімальних і максимальних значеннях сталих часу. Сталі часу визначають характер перехідного процесу нейтралізації азотної кислоти аміаком тому для забезпечення найбільшої керованості об'єкта управління їх доцільно використати як доповнюючі для контролю процесу нейтралізації.

Література

1. Таганов И.Н. Моделирование процессов массо- и энергопереноса. – Л.: Химия, 1979. – 203 с.//.
2. Стенцель Й.І. Математичне моделювання хімічних процесів на основі теорії реологічних переходів. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Луганськ, 2007. – №5 (111), Ч. 2. – С. 91 – 96.