

4. Янчук Н.И., Иванец Л.Н. Кинетические закономерности реакций гидразидов O,O-диарилтиофосфорных кислот с фенилизотиоцианатом в бензоле // Журн. общ. химии. - 2005. - Т. 75. - Вып. 6. - С. 893-896.
5. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. М.: Мир, 1971. - 318 с.
6. Чекушин С.И., Титов Е.В. О частотах валентных колебаний N - H гидразидов карбоновых кислот // Оптика и спектроскопия. - 1970. - Т. 28. - Вып. 4. - С. 817-818.
7. Чекушин С.И., Титов Е.В. О расчете интенсивностей полос валентных колебаний N-H гидразидов карбоновых кислот // Оптика и спектроскопия. - 1971. - Т. 30. - Вып. 5. - С. 982-984.
8. Чекушин С.И., Титов Е.В. Эмпирический расчет интенсивностей полос валентных колебаний N-H фрагмента NHNH_2 // Оптика и спектроскопия. - 1973. - Т. 35. - Вып. 5. - С. 990-991.
9. Ватулев В.Н., Дядюша Г.Г. К расчету частот и форм валентных колебаний N-H гидразидов карбоновых кислот // Журн. прикл. спектроскопии. - 1972. - Т. 17. - Вып. 4. - С. 728-730.

Поступило до Редакції 28.02.2006 р.

І.Д. Лучейко
Тернопільський державний технічний
університет ім. Івана Пулюя

УДК 66.023

ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС В СИСТЕМІ ПРОТОЧНИЙ РЕАКТОР ІДЕАЛЬНОГО ЗМІШУВАННЯ – РЕАКЦІЯ $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ ПРИ ГАРМОНІЧНОМУ ЗБУРЕННІ КОНЦЕНТРАЦІЇ A_1 НА ВХОДІ

Актуальність математичного моделювання дедалі ширшого класу об'єктів у різних галузях науки і техніки, в першу чергу за рахунок сучасної доступності й, отже, відносної дешевизни отримання числових результатів на ЕОМ, не викликає сумнівів. Однак, у більшості випадках саме аналітичні розв'язки мають безперечні прерогативи, так як дозволяють в'яснити причинно-наслідкові зв'язки, а значить, зрозуміти внутрішню сутність розглядуваних властивостей об'єкта [1-7].

Робота є продовженням [2-6], де поставлені й розв'язані задачі описів нестационарних процесів в ідеальних реакторах витиснення (PIB) і змішування (PIЗ), викликаних гармонічними коливаннями концентрації реагенту на вході при протіканні – як модельної – простої оборотної реакції з довільними стехіометрією та кінетикою.

Показано, що згідно теорії вимірвальних перетворювачів [7] PIB є ідеальною інерційною ланкою з нескінченною смугою пропускання частот будь-яких вхідних сигналів концентрації; перехідний процес зводиться лише до їх часової затримки в реакторі, при цьому форма порівняно малих сигналів не спотворюється [2, 3].

Для PIЗ внаслідок миттєвого розмішування реакційної суміші по всьому об'ємові апарата, тобто наявності специфічного («розривного» [6]) зв'язку між виходом і входом, мають місце частотні залежності амплітуд і зсувів фаз усталених коливань вихідних сигналів концентрацій; кінцева форма малого сигналу «відновлюється» (по відношенню до початкової) тільки через деякий – теоретично нескінченний – проміжок часу [4-6].

Проте, фактично перехідний режим у [6] при гармонічному збуренні стаціонарного значення концентрації реагенту на вході PIЗ не вивчався, що й є метою даної роботи.

1. Узагальнення вихідних даних. Постановка задачі. В безрозмірних величинах математична модель нестационарного режиму роботи ізотермічної системи PIЗ – реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$, спричиненого виключно зміною початкової концентрації $c_1^{ex}(\bar{\tau})$ реагенту A_1 , має вигляд [4, 6]

$$\begin{cases} dc_1 / d\bar{\tau} = c_1^{ex} - c_1 - \bar{w}_1 + \bar{w}_2 \\ dc_2 / d\bar{\tau} = -c_2 + \alpha \bar{w}_1 - \alpha \bar{w}_2 \\ \bar{\tau} = 0, c_1 = c_0, c_2 = \alpha x_0, \end{cases} \quad (1)$$

де $c_i = C_i / C_{01}^{ex} \geq 0$ – кінцеві концентрації інгредієнтів в одиницях номінальної (стаціонарної) концентрації A_1 на вході; $\bar{\tau} = \tau / \tau_0 \geq 0$ – час в одиницях середнього часу перебування суміші у зоні реакції; $\bar{w}_1 = \bar{k}_1 c_1^n$, $\bar{w}_2 = \bar{k}_2 c_2^m \geq 0$ – швидкості прямої та зворотної реакцій відповідно (формальна кінетика); $\alpha > 0$ – зведений стехіометричний коефіцієнт при A_2 ; $c_0 \equiv c_{01}$, $x_0 = 1 - c_0 \leq 1$ – номінальні значення концентрації та ступеня перетворення A_1 .

Для стаціонарного режиму ($c_1^{ex} \equiv 1$) система рівнянь (1) зводиться до одного алгебричного рівняння зв'язку параметрів реакції та єдиного (в цьому випадку) параметра РІЗ – τ_0

$$\bar{k}_1(1 - x_0)^n - \bar{k}_2(\alpha x_0)^m \equiv \Delta \bar{w}_0 = x_0, \quad (2)$$

де $\Delta \bar{w}_0 = \bar{w}_{01} - \bar{w}_{02} \geq 0$ – різниця стаціонарних швидкостей реакцій; $\bar{k}_i \sim \tau_0 > 0$ – спостережувані безрозмірні константи швидкостей.

За умови малих ($|\varepsilon_i| \ll 1$) збурень на виході система (1) стає лінійною [6]

$$\begin{cases} c_0 d\varepsilon_1 / d\bar{\tau} + a_1 c_0 \varepsilon_1 - (a_2 - 1)x_0 \varepsilon_2 = \varepsilon_1^{ex} \\ x_0 d\varepsilon_2 / d\bar{\tau} + a_2 x_0 \varepsilon_2 - (a_1 - 1)c_0 \varepsilon_1 = 0 \\ \bar{\tau} = 0, \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де $\varepsilon_i = c_i / c_{0i} - 1$ – відносні відхилення вихідних концентрацій від стаціонарних значень (відповідні абсолютні відхилення $\Delta c_1 = c_0 \varepsilon_1$, $\Delta c_2 = \alpha x_0 \varepsilon_2$); $\varepsilon_1^{ex} = c_1^{ex} - 1 = \Delta c_1^{ex}$ – відносне відхилення (збурення) вхідної концентрації, рівне в прийнятих позначеннях абсолютному; $\alpha_i \geq 1$ ($\Leftarrow n, m \geq 0$) – залежні від номінальних параметрів режиму комплекси.

Загальні розв'язки (3) при гармонічному збуренні $\varepsilon_1^{ex} = E \sin \bar{\omega} \bar{\tau}$ є сумами інерційних і гармонічних складових [6]

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_1^{in} + \varepsilon_1^{exp} = A_{11} \exp(-\bar{\tau}) + A_{12} \exp(-a\bar{\tau}) + E_1 \sin(\bar{\omega} \bar{\tau} + \varphi_1); \\ \varepsilon_2 &= \varepsilon_2^{in} + \varepsilon_2^{exp} = A_{21} \exp(-\bar{\tau}) + A_{22} \exp(-a\bar{\tau}) + E_2 \sin(\bar{\omega} \bar{\tau} + \varphi_2), \end{aligned} \quad (4)$$

де $E = \varepsilon_{1max}^{ex} = \Delta c_{1max}^{ex} > 0$ – амплітуда на вході; $E_i = \zeta_i(\bar{\omega})E > 0$ – амплітуди на виході; $\varphi_i(\bar{\omega}) < 0$ – зсуви фаз; $\bar{\omega} = \omega \tau_0 > 0$ – безрозмірна циклічна частота («звичайна» частота $\bar{f} = \bar{\omega} / 2\pi = \tau_0 / T$, де T – період коливань); $a = \alpha_1 + \alpha_2 - 1 \geq 1$.

У роботі [6] розраховані амплітудно-фазові $\zeta_i(\bar{\omega})$ та фазочастотні $\varphi_i(\bar{\omega})$ характеристики розглядуваної системи реактор – реакція й проаналізовані її властивості в усталеному режимі коливань кінцевих концентрацій інгредієнтів

$$\zeta_1 = \frac{\omega_2}{c_0 \omega_a \omega}; \quad \zeta_2 = \frac{\alpha_1 - 1}{x_0 \omega_a \omega}; \quad \varphi_1 = -\arccos \frac{\alpha_2 a + \alpha_1 \bar{\omega}^2}{\omega_a \omega_2 \omega}; \quad \varphi_2 = -\arccos \frac{a - \bar{\omega}^2}{\omega_a \omega} \quad (E \ll \zeta_i^{-1}), \quad (5)$$

де введено нові позначення $\omega_a = (1 + \bar{\omega}^2)^{1/2} \rightarrow a \equiv 1$; $\omega_2 = (\alpha_2^2 + \bar{\omega}^2)^{1/2} \rightarrow a_2$; $\omega = (\alpha^2 + \bar{\omega}^2)^{1/2} \rightarrow a$.

Так, з ростом комплексу $\bar{\omega} = \omega \tau_0$ амплітудні чутливості ζ_i (коефіцієнти перетворення) [1-7] зменшуються, а зсуви фаз $|\varphi_i|$ збільшуються. При сталій частоті зі збільшенням симплексу α_1 / α_2 чутливість ζ_1 (реагент) знижується, а ζ_2 (продукт) підвищується. Відзначимо, що з хіміко-технологічної точки зору – протилежної до «вимірювальної» [7] – для забезпечення «практичної стаціонарності» режиму, тобто його стійкості щодо можливих зовнішніх збурень концентрації, чутливості повинні бути низькими.

Спробуємо пояснити таку поведінку системи РІЗ – реакція, що в принципі неможливо без дослідження її інерційних властивостей і, зокрема, обґрунтування фізичної суті комплексів α_i , a .

2. Розрахунок максимальних значень інерційних складових. Динамічні властивості системи в перехідний період. Максимальні значення величин ε_{ij}^{ix} при $\bar{\tau} = 0$ (максимальні значення величин $\varepsilon_{ij}^{ix} = A_{ij}$). Із (4) та (3), використавши початкову умову, дістанемо систему звичайних рівнянь,

$$\begin{cases} A_{11} + A_{12} = -E_1 \sin \varphi_1 \\ A_{21} + A_{22} = -E_2 \sin \varphi_2 \\ A_{11} + aA_{12} = \bar{\omega} E_1 \cos \varphi_1 \\ A_{21} + aA_{22} = \bar{\omega} E_2 \cos \varphi_2, \end{cases} \quad (6)$$

що розпадається на дві формально самостійні з двома невідомими – для реагенту та продукту (при

$\bar{\tau} \rightarrow +0$ реакції теоретично незалежні).

Звідси з врахуванням (5) після перетворень

$$A_{11} = \frac{E\bar{\omega}(a_2 - 1)}{c_0(a - 1)(1 + \bar{\omega}^2)}; \quad A_{12} = \frac{E\bar{\omega}(a_1 - 1)}{c_0(a - 1)(a^2 + \bar{\omega}^2)}; \quad A_{21} = A_{11} \frac{c_0(a_1 - 1)}{x_0(a_2 - 1)}; \quad A_{22} = -A_{12} \frac{c_0}{x_0}. \quad (7)$$

Безрозмірні комплекси a_i , a взаємозв'язані через (2) рівностями [6]

$$a = a_1 + a_2 - 1 = (1 + \bar{k}_1 n c_0^{n-1}) + (1 + \bar{k}_2 \alpha^m m x_0^{m-1}) - 1 = 1 + \frac{m x_0 (1 + \delta_0)}{c_0 \delta_0} + \frac{m}{\delta_0}, \quad (8)$$

де $\delta_0 = \gamma c_0^n (\alpha x_0)^{-m} - 1$ – номінальне відносне відхилення швидкості прямої реакції від зворотної; $\gamma = \bar{k}_1 / \bar{k}_2 = (\alpha x_0)^m / c_0^n$ – симплекс констант швидкостей, рівний для даної реакції константі рівноваги; $x_0 = 1 - c_0$ – рівноважне значення ступеня перетворення реагенту A_1 .

Із (4), (5), (7) співвідношення $c_0 \varepsilon_1 / E = \Delta c_1 / \Delta c_{1\max}^{ex} \neq f(x_0)$ вихідного та максимального вхідного абсолютних відхилень концентрацій A_1

$$c_0 \varepsilon_1 / E = \frac{\bar{\omega}(a_2 - 1) \exp(-\bar{\tau})}{(a - 1)\bar{\omega}^2} + \frac{\bar{\omega}(a_1 - 1) \exp(-a\bar{\tau})}{(a - 1)\bar{\omega}^2} + \frac{\omega_2}{\omega_1 \bar{\omega}} \sin \left[\bar{\omega} \bar{\tau} - \arccos \frac{a_2 a + a_1 \bar{\omega}^2}{\omega_1 \omega_2 \bar{\omega}} \right], \quad (9)$$

звідки при відносно

низьких і достатньо високих частотах [6] відповідно

$$c_0 \varepsilon_1 / E \approx \bar{\omega}(a - 1)^{-1} [(a_2 - 1)e^{-\bar{\tau}} + (a_1 - 1)a^{-2}e^{-a\bar{\tau}}] + a_2 a^{-1} \sin \bar{\omega} \bar{\tau} \quad (\bar{\omega} \ll 1). \quad (10)$$

$$c_0 \varepsilon_1 / E \approx [(a - 1)\bar{\omega}]^{-1} [(a_2 - 1)e^{-\bar{\tau}} + (a_1 - 1)e^{-a\bar{\tau}}] + \bar{\omega}^{-1} \sin(\bar{\omega} \bar{\tau} - \pi/2) \quad (\bar{\omega} \gg a). \quad (11)$$

Як слідує з формул (10), (11), при низьких частотах максимальні величини інерційних складових значно менші за амплітудні значення гармонічних, тобто інерція невелика, при високих – обидві складові однакові (рівні $1/\bar{\omega} \ll 1$), а отже, інерційні властивості нашої системи будуть суттєвими.

Для наглядності на рисунку показані, розраховані згідно з (9), часові залежності $\Delta c_1 / \Delta c_{1\max}^{ex}$.

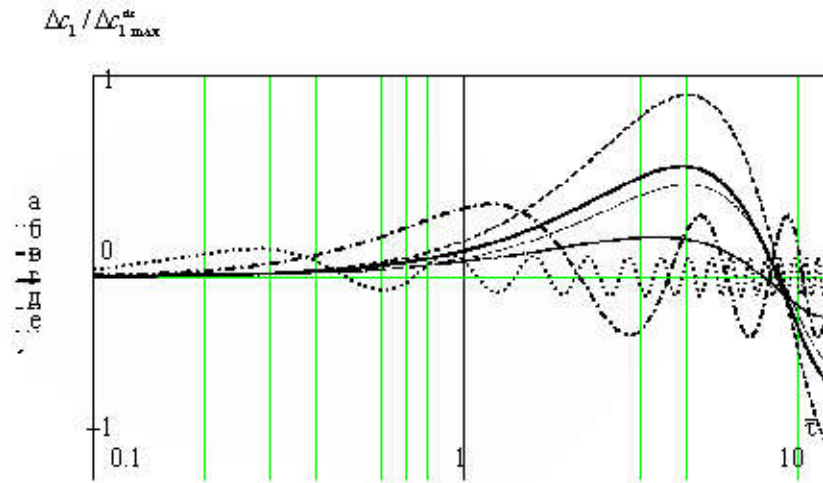


Рис. Залежності $\Delta c_1 / \Delta c_{1 \max}^{ex}$ від часу $\bar{\tau} = \tau / \tau_0$ для реакції $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ в проточному РІЗ ($a_1 / a_2 = 3/3$) при збуренні концентрації A_1 різної частоти $\bar{\omega} = \omega \tau_0$: а – $\bar{\omega} = 10$; б – 2; в – е – $\bar{\omega} = 0.5$; г – $a_1 / a_2 = 1/5 \Leftrightarrow n = 0$; д – $a_1 / a_2 = 5/1 \Leftrightarrow m = 0$; е – $a_1 / a_2 = 30/30$

Як видно з рисунку, кардинальним інерційним фактором дійсно є комплекс $\bar{\omega} = \omega \tau_0 = 2\pi \tau_0 / T$. При його збільшенні інерція системи зростає: амплітуда коливань $\Delta c_1 / \Delta c_{1 \max}^{ex}$, у тому числі для перехідного періоду, зменшується, а зсув фаз [див. (10), (11)] збільшується. Величини a_1 / a_2 й a істотно впливають на амплітуду лише при малих значеннях $\bar{\omega}$ (криві «в» – «е» на рисунку). Зазначимо, що випадок $a_1 = 1 \Leftrightarrow n = 0$ в (9) ідентичний відсутності реакції ($a_1 = a_2 = a = c_0 \equiv 1$, крива «г»). Схожа картина спостерігається і для продукту, за винятком протилежної залежності амплітуди від симплексу a_1 / a_2 .

3. «Власні частоти» системи РІЗ – реакція та їх фізичний зміст. Легко показати, що величини A_j мають строгі локальні максимуми по частоті

$$\partial A_{11} / \partial \bar{\omega} = 0 \Rightarrow \bar{\omega} = 1; \quad \partial A_{22} / \partial \bar{\omega} = 0 \Rightarrow \bar{\omega} = \alpha, \quad (12)$$

тобто для A_{11} й A_{21} стаціонарна («резонансна») точка рівна 1, а для A_{12} й A_{22} – α . Тоді логічно зробити висновок, що A_{11} переважно (з врахуванням системності) визначає інерційні властивості власне апарата, а A_{22} – системи РІЗ – реакція.

Справді, в розмірних одиницях характерна – «власна» – «частота реактора» як апарата ідеального змішування (при відсутності реакції $\alpha \equiv 1$)

$$\bar{\omega}_0^{p-p\alpha} = 1 \Leftrightarrow \omega_0^{p-p\alpha} = 1 / \tau_0. \quad (13)$$

Так як τ_0 – середній час перебування частинок рідини в реакторі, то $1 / \tau_0$ визначає середню «швидкість» або «частоту» (s^{-1}) оновлення реакційного об'єму. Відмітимо, що вжитий термін «частота» достатньо коректний, оскільки форма та розміри РІЗ довільні за означенням.

Тоді величини $\alpha_j - 1$ можна трактувати як «власні частоти» порізно взятих прямої чи зворотної реакцій. Спробуємо з'ясувати їх фізичний зміст. Із (8) чисто формально

$$\begin{aligned} \bar{\omega}_{01} &\equiv \alpha_1 - 1 = n \bar{k}_1 c_0^{n-1} = (\partial \bar{\omega}_1 / \partial c_1)_{c_1=c_0} = \partial \bar{\omega}_{01} / \partial c_0; \\ \bar{\omega}_{02} &\equiv \alpha_2 - 1 = m \alpha \bar{k}_2 c_0^{m-1} = \partial \bar{\omega}_{02} / \partial c_0 = -\partial \bar{\omega}_{02} / \partial c_0. \end{aligned} \quad (14)$$

тобто $\bar{\omega}_{0i}$ чисельно дорівнює зміні стаціонарної швидкості відповідної реакції при одиничній зміні вихідної концентрації реагенту A_1 (спричиненою в розглядуваному випадку відхиленням від номіналу вхідної концентрації A_1).

Підкреслимо, що розраховані в роботі [5] для стаціонарного режиму ($\bar{\omega} = 0$) статичні чутливості вихідних концентрацій до вхідної $\partial C_{01} / \partial C_{01}^{ex} = a_2 / a = c_0 \zeta_{01}$, $\partial C_{02} / \partial C_{01}^{ex} = \alpha(a_1 - 1) / a = \alpha \chi_0 \zeta_{02}$, де $\zeta_{0i} = \zeta_i(\bar{\omega} \ll 1)$ [див. (5)].

По іншому, «власні частоти» – це статичні параметричні чутливості [1-7] швидкостей реакцій до зміни концентрації реагенту, отже є характеристиками швидкостей реакцій, утім у формі (14) – без врахування їх взаємодії та взаємодії з апаратом.

Згідно цієї логіки критерій α , як впливає з (8), (2), є сумою окремих чутливостей

$$\alpha = 1 + \bar{\omega}_{01} + \bar{\omega}_{02} = \bar{\omega}_0^{p-pa} + \bar{\omega}_0^{p-psi} = \bar{\omega}_0^{системи} = 1 + \partial(\Delta \bar{\omega}_0) / \partial c_0 \quad (15)$$

і може бути названий «власною частотою» системи РІЗ – реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ при зовнішньому збуренні c_1^{ex} .

Звісно, що в цій інтерпретації величина $\alpha_i = 1 + \bar{\omega}_{0i}$ – це «власна частота» формально відокремленої підсистеми реактор – відповідна реакція. Просте сумування «частот» чутливостей обумовлене, очевидно, лінійністю рівнянь (3) при малих ($E \ll \zeta_i^{-1}$) збуреннях концентрації. Однак, воно має і чіткий фізичний підтекст: дія реакції та РІЗ проходить одночасно, тобто паралельно, на відміну, скажімо, від перетворювача прямої – послідовної в часі – дії, де загальна чутливість є добутком чутливостей окремих ланок [7].

Таким чином, зараз можна пояснити специфіку функціонування, зокрема в перехідний період нашої системи при збуренні вхідної номінальної концентрації.

При низьких частотах ($\bar{\omega} \ll 1 \Leftrightarrow T \gg 2\pi\tau_0$) поведінку системи РІЗ – реакція в основному зумовлюють її статичні чутливості: зміна c_1^{ex} настільки «повільна» – по відношенню до τ_0 – що коливання c_i фактично синфазні c_1^{ex} [(див. (10)]; крім того, часу τ_0 недостатньо для «з'їдання» амплітуди. При високих частотах ($\bar{\omega} \gg a \Leftrightarrow T \ll 2\pi\tau_0/a$) часу τ_0 – як інерційного чинника – так «багато», що система практично не реагує на величину амплітуди збурення концентрації реагенту на вході РІЗ.

Зрозуміло, що в подальшому необхідно вяснити взаємний (системний) вплив реакцій та реактора на величини статичних чутливостей і детальніше проаналізувати особливості даного перехідного процесу.

Висновки

Характери як перехідного, так і усталеного режимів у системі проточний РІЗ – реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ при гармонічному збуренні стаціонарної концентрації реагенту на вході визначаються комплексом безрозмірної частоти $\bar{\omega} = 2\pi\tau_0/T$ і комплексами статичних ($\bar{\omega} \ll 1$) чутливостей a_i , a системи. Загальна статична чутливість a системи до зовнішнього збурення концентрації є сумою чутливості $a \equiv 1$ РІЗ як апарата та чутливостей $a_i - 1$ швидкостей реакцій; симплекс a_1/a_2 та a суттєво впливають на функціонування системи лише при $\bar{\omega} \ll 1$, що цілком закономірно. При низьких ($\bar{\omega} \ll 1$) частотах інерційні властивості системи практично не проявляються; при високих ($\bar{\omega} \gg a$) – різко зростають, зокрема величини інерційних складових коливань концентрацій інгредієнтів стають співмірними з гармонічними, і перехідний процес логічно затягується в часі.

РЕЗЮМЕ

Аналітично доведено, що характер як перехідного, так і усталеного режимів у системі проточний реактор ідеального змішування – реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ при гармонічному збуренні вхідної концентрації реагенту A_1 в основному визначається співвідношенням $\bar{\omega} = 2\pi\tau_0/T$ величин середнього часу τ_0 перебування інгредієнтів в апараті та періоду T коливань концентрації A_1 .

РЕЗЮМЕ

Аналитически доказано, что характер как переходного, так и установившегося режимов в системе проточный реактор идеального смешения – реакция $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ при гармоническом возмущении входной концентрации реагента A_1 в основном определяется соотношением $\bar{\omega} = 2\pi\tau_0 / T$ величин среднего времени τ_0 пребывания ингредиентов в аппарате и периода T колебаний концентрации A_1 .

SUMMARY

Character of transient and steady-state conditions in perfect-mixing continuous reactor – reaction $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ system at harmonic oscillations of inlet concentration A_1 determine mainly by relation $\bar{\omega} = 2\pi\tau_0 / T$ of quantities of average dwell time τ_0 ingredients in apparatus and of period T oscillations concentration A_1 is analytically proved.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закгейм А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов.-М.: Химия, 1982.-288 с.
2. І. Лучейко, М. Ямко. Стійкість стаціонарного режиму реактора ідеального витиснення при збуренні концентрації реагенту на вході. // Матеріали 8-ї наук. конф. ТДТУ ім. І. Пулюя. Тези доп.-Тернопіль, 2004.-С.123.
3. Лучейко І.Д., Ямко М.П. Малі збурення концентрації реагенту в реакторі ідеального витиснення (реакція $\nu_1 A_1 \rightleftharpoons \nu_2 A_2$). // «Наукові записки» Тернопільського національного педагогічного у-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Хімія.-2005.-N 9.-С.57-65.
4. І. Лучейко, М. Ямко. «Резонанс фаз» у проточному реакторі ідеального змішування при гармонічному коливанні початкової концентрації реагенту. // Матеріали 10-ї наук. конф. ТДТУ ім. І. Пулюя. Тези доп.-Тернопіль, 2006.-С.179.
5. І. Лучейко. Хімічний реактор як перетворювач сигналу концентрації. // Матеріали 10-ї наук. конф. ТДТУ ім. І. Пулюя. Тези доп.-Тернопіль, 2006.-С.180.
6. І. Лучейко, М. Ямко, Я. Гумницький. Частотні характеристики проточного реактора ідеального змішування при малих збуреннях концентрації реагенту (реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$). // Вісник Тернопільського державного технічного у-ту.-2006,-№3, С.27-32.
7. Основы метрологии и электрические измерения. / Под ред. Е.М. Душина.-Л.: Энергоатомиздат, 1987.-480 с.

Поступило до Редакції 10.05.2006 р.

В.А.Копілевич, Н.М.Прокопчук, Л.В.Войтенко
Національний аграрний університет, м. Київ

УДК 546.185:546.47'56'732

СИНТЕЗ ГІДРАТОВАНОГО АМІАЧНОГО ОРТОФOSFATУ НІКЕЛЮ (II)

Неорганічні фосфатні матеріали знаходять широке використання у промисловості, очищенні стічних вод, медицині та сільському господарстві [1]. Синтез фосфатів з новими функціональними можливостями має важливе значення для розширення спектру їх використання.

Відомості про одержання твердого гідратованого аміачного ортофосфату нікелю у літературі відсутні [2-4]. Дана речовина потенційно може проявляти каталітичну чи біологічну активність [5-8], а також застосовуватися як люмінофор, пігмент чи їх складова [1, 9]. Тому метою даної роботи було виділити сполуку, що містить катіон Ni^{2+} з координованими аміачними лігандами та ортофосфатний аніон шляхом висолювання з аміачного розчину та вивчення її фізико-хімічних властивостей.

Експериментальна частина

Гідратований аміачний ортофосфат нікелю (II) виділяли з водно-аміачного розчину шляхом висолювання органічним розчинником [10]. Як вихідний реагент використовували ортофосфат нікелю $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, синтезований за методикою, аналогічною одержанню гідратованих