

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТОРА ОКИСНЕННЯ КУМОЛУ

Кліменко В. А., Козаневич З. Я.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, klimenkofv@gmail.com

Окиснення кумолу (ізопропіленбензолу) $C_6H_5CH(CH_3)_2$ є початковою стадією виробництва фенолу й ацетону. Реакція окиснення $C_6H_5CH(CH_3)_2$ молекулярним киснем є складною радикально-ланцюговою каталітичною реакцією, яка відбувається в рідкій фазі за рівнянням



Продуктом реакції є гідропероксид кумолу $C_6H_5C(CH_3)_2OOH$. Отримати 100-відсоткову селективність по гідропероксиду неможливо, бо паралельно з основним утворюються побічні продукти. У промислових умовах селективність стадії окиснення кумола по гідропероксиду становить 91...95 %. Така селективність забезпечується конструктивним оформленням реактора, дотриманням оптимальних концентрацій гідропероксиду в реакційній масі (15...25 %), оптимальної температури (100...120 °C) і використання найбільш активного каталізатора.

З підвищенням температури зростає швидкість розпаду гідропероксиду. Зниження температури зменшує швидкість реакції окиснення кумолу. Процес окиснення проводять за температури 120...130 °C, тиску = 0,5...1 МПа, рН 8,5...10,5. За таких умов кінцевий вміст гідропероксиду складає близько 25 %*.

Зазвичай використовують реактор колонного типу, який складається з корпусу, тарілок, які ділять об'єм реактора на кілька секцій, та теплообмінного елемента. В результаті аналізу реактора як технологічного об'єкта керування встановлено, що регульованим параметром є температура в апараті θ , керувальним впливом – витрата води на охолодження F_v і два збурення: концентрація та температура кумолу на вході x_{i0} , θ_{i0} .

Теплові та матеріальні баланси (розрахункову схему реактора наведено на рис. 1) складені за таких допущень: реактор являє собою об'єкт з зосередженими параметрами; зміна температури води охолодження від θ_{v0} до θ_v є лінійною; теплофізичні параметри середовищ незмінні.

Загальний матеріальний баланс і баланс для гідропероксиду мають вигляд

$$F_p + F_i - F_g - F_h = V_r \frac{d\rho}{dt}, \quad (2)$$

$$F_i x_{h0} + K_1 \left(x_{i0} - \frac{M_i}{M_h} x_h + \frac{M_i}{M_h} x_{h0} \right) - F_h x_h = V_r \rho \frac{dx_h}{dt}, \quad (3)$$

де V_r – об'єм рідини в апараті, м³; F_i, F_p, F_g, F_h, F_v – витрати кумолу та повітря на вході в реактор, газу та гідропероксиду на виході з реактору, води для охолодження відповідно, кг/год; x_{i0}, x_{h0}, x_i, x_h – початкові концентрації кумолу та гідропероксиду в суміші на вході та їх кінцеві концентрації на виході з реактора відповідно, %; M_i, M_h – молярна маса кумолу та гідропероксиду, г/моль.

* Кружалов Б. Д., Голованенко Б. И. Совместное получение фенола и ацетона. Москва: Госхимиздат, 1963. 201 с.

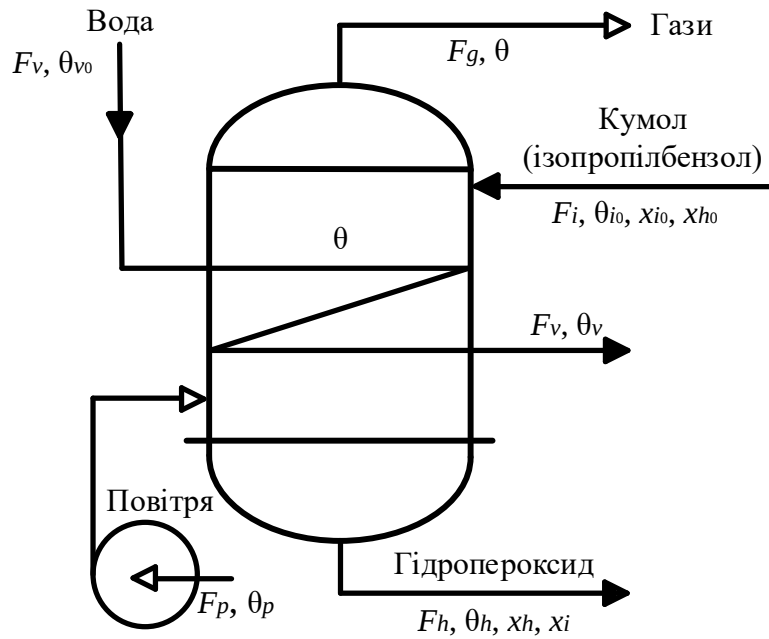


Рис. 1. Розрахункова схема реактора окиснення кумолу:

$\theta_p, \theta_{v0}, \theta_{i0}, \theta_h, \theta_v, \theta$ – температури повітря, води, кумолу на вході в реактор, гідропероксиду, води на виході та в реакторі відповідно, °C; x_{i0}, x_{xh0} і x_h – концентрації кумолу й гідропероксиду на вході та гідропероксиду на виході з реактора відповідно, %; c_i, c_p, c_h, c_v – питомі теплостійкості кумолу, повітря, гідропероксиду та води, кДж/кг·°C

Теплові баланси для реактора та води охолодження запишемо у вигляді

$$F_p \theta_p c_p + F_i \theta_{i0} c_i - KS \left(\theta - \frac{\theta_v + \theta_{v0}}{2} \right) + K_1 \left(x_{i0} - \frac{M_i}{M_h} x_h + \frac{M_i}{M_h} x_{h0} \right) q - F_h c_h \theta - F_g i_g = V_r \rho_r c_r \frac{d\theta}{dt}, \quad (4)$$

$$F_v c_v (\theta_v - \theta_{v0}) + KS (\theta - 0,5(\theta_v + \theta_{v0})) = V_v \rho_v c_v 0,5 \frac{d(\theta_v + \theta_{v0})}{dt}. \quad (5)$$

З математичної моделі (2)...(5) отримано передавальні функції та перехідні характеристики за каналами керування $F_v \rightarrow \theta$ і збурення $x_{i0} \rightarrow \theta, \theta_{i0} \rightarrow \theta$ (на рис. 2, 3, 4 наведено їх скрини з Mathcad).

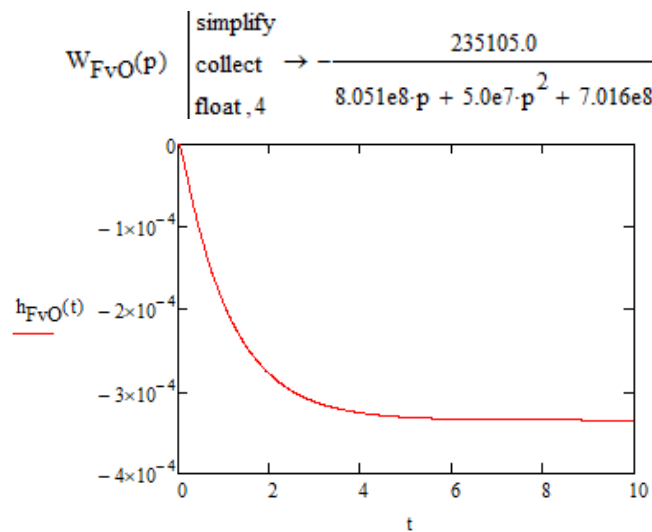


Рис. 2. Передавальна функція та перехідна характеристика каналу керування $F_v \rightarrow \theta$

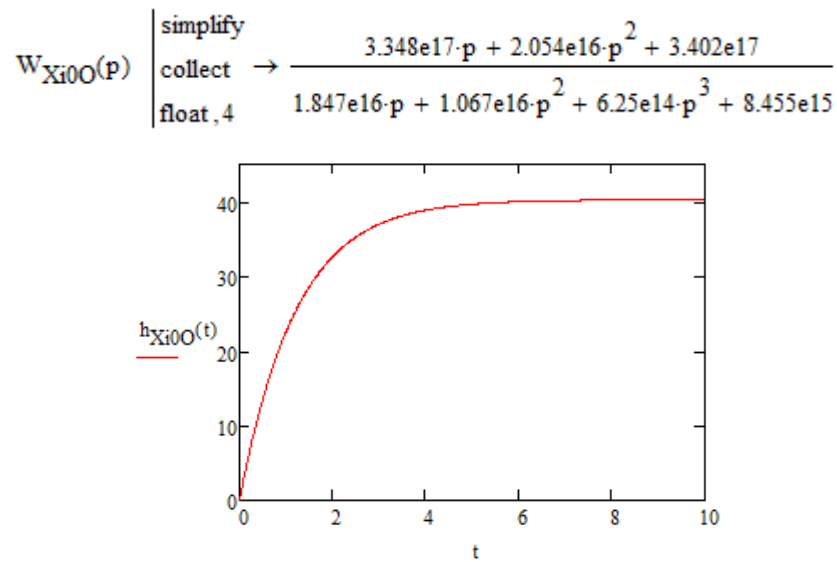


Рис. 3. Передавальна функція та перехідна характеристика каналу збурення $x_{i0} \rightarrow \theta$

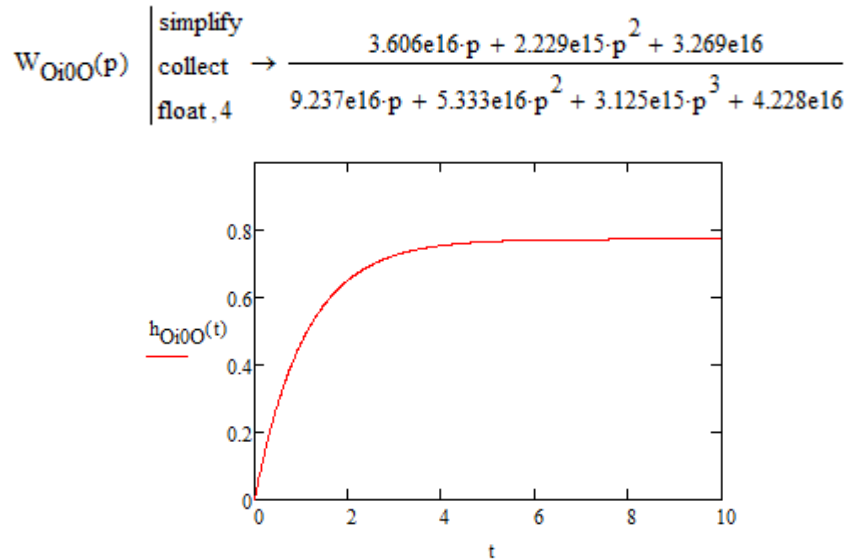


Рис. 4. Передавальна функція та перехідна характеристика каналу збурення $\theta_{i0} \rightarrow \theta$

Аналіз отриманих передавальних функцій показав, що

- для каналу збурення $x_{i0} \rightarrow \theta$ сума показників параметра p чисельника для каналу збурення і знаменника для каналу керування (2+2) виявилася більшою від суми показників параметра p знаменника для каналу збурення та чисельника для каналу керування (3+0), що унеможливорює фізичну реалізацію динамічного компенсатора для інваріантного до x_{i0} регулювання θ ;

- для каналу збурення $\theta_{i0} \rightarrow \theta$ сума показників параметра p чисельника для каналу збурення і знаменника для каналу керування (2+2) виявилася більшою від суми показників параметра p знаменника для каналу збурення і чисельника для каналу керування (3+0), що унеможливорює фізичну реалізацію динамічного компенсатора для інваріантного до θ_{i0} регулювання θ .