

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 66-9

КВАСКО М. З., к.т.н., проф.; ЖУРАКОВСЬКИЙ Я. Ю., ст. викл.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПУСКОВИЙ РЕЖИМ АПАРАТА ЗАНУРЕНОГО ГОРІННЯ

Розглянуто керування пусковим режимом апарата зануреного горіння, призначеного для упарювання розчинів до високих концентрацій. Одержано залежність, що дозволяє проаналізувати витрати палива в пусковому й робочому режимах ще на етапі конструювання апарата.

Ключові слова: апарат зануреного горіння, пусковий режим, випарювання.

© Кваско М. З., Жураковський Я. Ю., 2014.

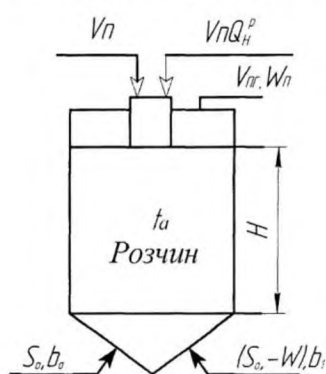


Рис. 1 – Схема потоків в апараті зануреного горіння

Постановка проблеми. Апарати зануреного горіння (АЗГ) застосовують як окремо так і на завершальних стадіях випарювання разом із трубчастими апаратами для упарювання розчинів до високих концентрацій. В АЗГ відсутня трубчатка, а теплоносій безпосередньо контактує з розчином.

Побудувавши математичну модель нагрівання розчину під час запуску АЗГ та розв'язавши її, можна визначити конструктивні розміри апарата, витрату палива, тривалість пускового режиму, а також вибрати пальники для різних режимів роботи та автоматично їх перемикаєти.

Метою статті є розроблення та розв'язання математичної моделі для розрахунку пускового режиму апарата зануреного горіння, призначеного для упарювання розчинів.

Виклад основного матеріалу. Вважатимемо, що зі змінням температури розчину від $\Theta_{\text{пр}}$ до Θ_s коефіцієнт теплопередачі, теплофізичні властивості розчину й продуктів горіння є сталими.

Теплові баланси для теплоносія, повітря і продуктів горіння:

$$\begin{aligned} V_T Q_H^P + V_T C_T \Theta_T + V_{\text{пр}} C_{\text{пр}} \Theta_{\text{пр}} - K_6 F_6 H_6 \Delta t_{\text{ср}} - V_{\text{пр}} C_{\text{пр}} T_{\text{пр}} &= F(H_6 - H) \alpha dt_{\text{пр}} / dt, \\ K_6 F_6 H_6 \Delta t_{\text{ср}} - \alpha_1 F_{\text{вс}} (t_\alpha - t_{\text{ст}}) - W_{\text{пр}} r &= G_p C_p dt_\alpha / dt, \\ \alpha_1 F_{\text{вс}} (t_\alpha - t_{\text{ст}}) - \alpha_2 F_{\text{зс}} (t_{\text{ст}} - \Theta_{\text{зс}}) &= G_{\text{ст}} C_{\text{ст}} dt_{\text{ст}} / dt. \end{aligned}$$

де V_T і Q_H^P – витрата палива і теплота його згорання; C_T і Θ_T – питома масова теплоємність і температура теплоносія; $V_{\text{пр}}$, $C_{\text{пр}}$, $\Theta_{\text{пр}}$ – витрата, питома масова теплоємність і температура повітря; K_6 , F_6 , H_6 , $\Delta t_{\text{ср}}$ – коефіцієнт теплопередачі під час барботажу, площа перерізу сопла пальника, глибина барботажу і середня різниця температур; $V_{\text{пр}}$, $C_{\text{пр}}$, $T_{\text{пр}}$ – витрата продуктів горіння, їхня питома масова теплоємність і температура; G_p , C_p – маса і питома масова теплоємність розчину; F , H – площа поперечного перерізу й висота рівня розчину; α_1 , $F_{\text{вс}}$, t_α , $t_{\text{ст}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої стінки, площа поверхні внутрішньої стінки, температура розчину в апараті і температура стінки; r – питома масова теплота пароутворення; $W_{\text{пр}}$ – витрата випарованої води; α_2 , $F_{\text{зс}}$, $\Theta_{\text{зс}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки до навколишнього середовища, площа поверхні зовнішньої стінки, температура навколишнього середовища; $G_{\text{ст}}$, $C_{\text{ст}}$ – маса матеріалу стінки та його питома масова теплоємність.

Оскільки під час зануреного випарювання $t_\alpha \approx T_{\text{пр}}$ [1], надалі вважатимемо, що $t_\alpha = T_{\text{пр}}$. Випарювання відбуватиметься лише після закипання розчину, тому під час його нагрівання $W_{\text{пр}} = 0$.

Теплота, що передається розчину: $G_p C_p dt_\alpha / dt = V_{\text{пр}} C'_{\text{пр}} \Theta_{\text{гор}} - V_{\text{пр}} C_{\text{пр}} T_{\text{пр}} - \alpha_1 F_{\text{вс}} (t_\alpha - t_{\text{ст}})$, де $\Theta_{\text{гор}}$, $C'_{\text{пр}}$ – температура газів, що виходять із пальника після згорання палива, та їхня питома масова теплоємність.

Спільно розв'язуючи чотири рівняння теплового балансу та враховуючи, що $t_\alpha = T_{\text{пр}}$:

$$\begin{aligned} \frac{G_{\text{ст}} C_{\text{ст}} G_p C_p}{\alpha_1 F_{\text{вс}}} \frac{d^2 t_\alpha}{dt^2} + \left[\frac{G_{\text{ст}} C_{\text{ст}} (V_{\text{пр}} C_{\text{пр}} + \alpha_1 F_{\text{вс}}) + G_p C_p (\alpha_1 F_{\text{вс}} + \alpha_2 F_{\text{зс}})}{\alpha_1 F_{\text{вс}}} \right] \frac{dt_\alpha}{dt} + \\ + \left[\frac{(V_{\text{пр}} C_{\text{пр}} + \alpha_1 F_{\text{вс}}) (\alpha_1 F_{\text{вс}} + \alpha_2 F_{\text{зс}}) - \alpha_1^2 F_{\text{вс}}}{\alpha_1 F_{\text{вс}}} \right] t_\alpha = \frac{V_{\text{пр}} C'_{\text{пр}} (\alpha_1 F_{\text{вс}} + \alpha_2 F_{\text{зс}})}{\alpha_1 F_{\text{вс}}} \Theta_{\text{гор}} + \frac{G_{\text{ст}} C_{\text{ст}}}{\alpha_1 F_{\text{вс}}} \frac{d(V_{\text{пр}} \Theta_{\text{гор}})}{dt} \end{aligned}$$

Щоб спростити це рівняння, початок пускового режиму будемо розглядати з моменту подачі палива після його запалювання. Вважатимемо, що до цього температура теплоносія дорівнює температурі розчину в апараті. З урахуванням втрат Z і надлишку K , витрата теплоносія $V_{\text{пн}} = (1 + KZ)V_{\text{п}}$. Вважаючи, що $\Theta_{\text{зс}} = \text{const}$, перетворимо наведене рівняння в припущеннях:

$$T_2^2 \frac{d^2 \Delta t_{\alpha}}{dt^2} + T_1 \frac{d \Delta t_{\alpha}}{dt} + \Delta t_{\alpha} = b'_1 \Delta V_{\text{п}} + b'_2 \frac{d \Delta V_{\text{п}}}{dt},$$

де $T_2^2 = (G_{\text{ст}} C_{\text{ст}} G_{\text{п}} C_{\text{п}}) / A$, $T_1 = [G_{\text{ст}} C_{\text{ст}} (KV_{\text{п}} C_{\text{пн}} + \alpha_1 F_{\text{вс}}) + G_{\text{п}} C_{\text{п}} (\alpha_1 F_{\text{вс}} + \alpha_2 F_{\text{зс}})] / A$,

$b'_1 = (C_{\text{пн}} \Theta_{\text{пн}} + C_{\text{п}} t_{\alpha}) (\alpha_1 F_{\text{вс}} + \alpha_2 F_{\text{зс}}) K / A$, $b'_2 = G_{\text{ст}} C_{\text{ст}} (C_{\text{пн}} \Theta_{\text{гпр}} - C_{\text{п}} t_{\alpha}) K / A$, $A = (KV_{\text{п}} + \alpha_1 F_{\text{вс}}) (\alpha_1 F_{\text{вс}} + \alpha_2 F_{\text{зс}}) - \alpha_1^2 F_{\text{зс}}^2$.

Коли $t = 0$, $t_a = \Theta_{\text{рп}}$, $\Delta V_{\text{п}} = V_{\text{по}}$, звідки $t_a = V_{\text{по}} \left[b'_1 + \frac{b'_2 P_1 + b'_1}{P_1 (2T_2^2 + T_1)} t^{\text{рп}} \right] + \Theta_{\text{рп}}$, де $P_1 = \frac{-T_1 + \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}}{2T_2^2}$ – корінь

характеристичного рівняння. Розв'язуючи його, визначаємо тривалість нагрівання розчину від $\Theta_{\text{рп}}$ до $\Theta_{\text{с}}$:

$$t_{\text{н}} = \frac{1}{P_1} \ln \frac{(\Theta_{\text{с}} - \Theta_{\text{рп}} - V_{\text{по}} b'_1) (2T_2^2 P_1 + T_1) P_1}{V_{\text{по}} (b'_2 P_1 + b'_1)}.$$

Ця залежність дозволяє проаналізувати витрати палива в пусковому та робочому режимах на етапі конструювання АЗГ.

Висновки. Розглянуто керування пусковим режимом апарата зануреного горіння, призначеного для упарювання розчинів до високих концентрацій. Одержано залежність, що дозволяє проаналізувати витрати палива в пусковому й робочому режимах ще на етапі конструювання апарата.

Список використаної літератури

1. Удыма П. Г. Аппараты с погружными горелками / П. Г. Удыма. – М. : Машиностроение, 1973. – 272 с.
2. Алабовский А. Н. Выпарные аппараты погружного горения / А. Н. Алабовский. – К. : Вища шк., 1980. – 120 с.
3. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий / Э. В. Цешковский, Н. С. Пиргач, Г. Д. Ерашкин и др. – М. : Лесн. пром-ть, 1989. – 368 с.

Надійшла до редакції 16.12.2014

Kvasko M. Z., Zhurakovskiy Y. Y.

START MODE OF SUBMERGED COMBUSTION EVAPORATOR

Submerged combustion evaporator used both independently and in the final stages of evaporation in combination with tubular evaporator for evaporation of solutions to high concentrations. In devices submersible burning no tube heating surface and the contact carrier is directly from solution, ie transfer coefficient deterioration is impossible. With differential equation of solution heating process in apparatus and by analyzing it, it is possible to choose in advance the torch that fits different operating conditions, determine structural unit size, fuel consumption and duration of trigger mode.

Also possible to perform automatic switching burners with a high consumption of heat in the starting mode, to the burner that operates during normal operation.

Purpose of article is an analysis of the main parameters that affect the apparatus and a mathematical model of the process.

Heat balance equation for coolant, air and combustion products is folding. Fuel consumption and calorific value; specific heat and coolant temperature; consumption, specific heat and temperature of air; heat transfer coefficient in bubbling, burner nozzle cross section, the depth of bubbling and average logarithmic temperature difference; fuel combustion products, their specific heat and temperature; mass and specific heat of solution; cross-sectional area and depth of solution; coefficient of heat transfer from the solution to the inner wall, surface area of the inner wall, the temperature of the solution in the apparatus and the wall temperature; heat of vaporization; consumption of evaporated water; heat transfer coefficient from the outer wall to the environment, the area of the outer wall, the temperature of the environment; mass of material of walls and its specific heat are taken into account.

Beginning trigger abrupt mode take time fuel supply after ignition. With the resulting equations can analyze fuel consumption in the starting mode and during normal operation at the design stage of submerged combustion evaporator.

Can be used parameters obtained starting mode when designing control systems and automation and the development of necessary technical means. Can define fuel consumption in the starting mode and in the mode of technology exploitation, define duration apparatus starting mode.

Keywords: submerged combustion evaporator, start mode, evaporation.

References

1. Udyta P. G. Apparaty s pogruzhnymi gorelkami [Devices with submerged burners] / P. G. Udyta. – М. : Mashinostroenie, 1973. – 272 p.
2. Alabovsky A. N. Выпарные аппараты погружного горения [Evaporators of submerged combustion] / A. N. Alabovsky. – К. : Vishcha shkola, 1980. – 120 p.
3. Spravochnik po avtomatizatsii tselulozno-bumazhnykh predpriatii [Handbook of automation pulp and paper mills] / E. V. Tseshkovsky, N. S. Piryach, G. D. Erashkin et al. – М. : Lesnaia promyshlennost, 1989. – 368 p.

УДК 66-9

КВАСКО М. З., к.т.н., проф.; ЖУРАКОВСЬКИЙ Я. Ю., ст. викл.;
МИЛЕНЬКИЙ В. В., к.т.н., доц.; НОСОВ А. О., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КЕРУВАННЯ ВИПАРЮВАННЯМ В АПАРАТІ ЗАНУРЕНОГО ГОРІННЯ

Побудовано систему керування апаратом зануреного горіння як двовимірним об'єктом із взаємозалежними перехресними зв'язками. Запропоновано структуру системи незалежного керування кожною змінною із використанням цифрових регуляторів і цифрових компенсаторів.

Ключові слова: апарат зануреного горіння, двовимірний об'єкт, система керування.

© Кваско М. З., Жураковський Я. Ю., Миленький В.В., Носов А.О., 2014.

Постановка проблеми. Більшість хіміко-технологічних процесів є динамічними системами з багатьма керованими змінними, пов'язаними між собою через об'єкт керування. Щоб забезпечити якість процесу керування в системах автоматичного регулювання із взаємозалежними керованими змінними, необхідно компенсувати вплив внутрішніх зв'язків об'єкта керування шляхом введення в систему цифрових компенсаторів.

Метою статті є аналіз структури системи керування випарювання у випарнику зануреного горіння та розрахунок передавальних функцій компенсаторів.

Виклад основного матеріалу. Прикладом об'єкта з багатьма взаємопов'язаними керованими змінними є апарат зануреного горіння (АЗГ) [1] в якому необхідно регулювати рівень і концентрацію розчину (рис. 1).

Випарний АЗГ є об'єктом із двома взаємозалежними перехресними зв'язками [2], оскільки концентрація залежить не лише від кількості випареної води, але й від висоти рівня рідини в апараті (рис. 2). Щоб компенсувати перехресні зв'язки між цими змінними, необхідно ввести в систему автоматичного регулювання компенсатори.

Зображення керованих значень концентрації й рівня розчину [3]:

$$Y_1(z)=[W_{11}(z)D_{11}(z)+W_{12}(z)D_{21}(z)]E_1(z)+[W_{11}(z)D_{12}(z)+W_{12}(z)D_{22}(z)]E_2(z);$$
$$Y_2(z)=[W_{21}(z)D_{12}(z)+W_{22}(z)D_{22}(z)]E_2(z)+[W_{21}(z)D_{11}(z)+W_{22}(z)D_{21}(z)]E_1(z),$$

де $Y_1(z)$ – вихідне значення концентрації рідини в АЗГ; $Y_2(z)$ – вихідне значення рівня рідини в АЗГ; $W_{11}(z)$, $W_{12}(z)$, $W_{21}(z)$, $W_{22}(z)$ – дискретні передавальні функції відповідних об'єктів керування; $D_{11}(z)$, $D_{22}(z)$ – дискретні передавальні функції цифрових регуляторів; $D_{12}(z)$, $D_{21}(z)$ – дискретні передавальні функції цифрових компенсаторів; $E_1(z)$ і $E_2(z)$ – зображення розузгодженості між зображеннями заданого й поточного значень концентрації й рівня рідини в АЗГ.