The purpose of this article is to analyze the structure of the control system in the process of evaporation apparatus of immersed burning and calculation of compensators transfer functions.
An example of object with many interrelated controlled variables is apparatus of immersed burningin which it is necessary to adjust the level and concentration.
Submerged burning evaporator is type of control object with two interdependent cross-links. Concentration of the solution depends not only on the amount of evaporated water, but also on the height of the liquid level in the machine. Number of evaporated water is guided coolant supply. To compensate the cross-linking between these variables must enter compensators in automatic control system. Then change one value does not lead to a change in another.
Transfer functions of feedback control systems of liquid level and the concentration in the apparatus is composed. Laplace transform of controlled variables is found. Used conditions of absence influence on the automatic regulation of the concentration of the liquid in the liquid level automatic control system in the apparatus and vice versa.
System of equations is compiled. The solution of system of equations gives the transfer functions of digital controllers and digital compensators.
The study of dynamic properties of two-dimensional system of automatic control of interdependent variables show that for independent control of each variable, it is necessary to implement a «separation» with digital controls and digital compensators.Transfer functions and frequency responses of cylindrical heat storage walls as plants with distributed parameters depending on boundary conditions on external and internal surfaces are presented. Obtained results can be used for control systems synthesis.

Keywords: *submerged combustion evaporator, two-dimensional object, control system.*

References
1. *Udyma P. G.* Apparaty s pogruzhnymi gorelkami [Devices with submerged burners] / P. G. Udyma. – M. : Mashinostroenie, 1973. – 272 p.
2. *Alabovsky A. N.* Vyparnye apparaty pogruzhnogo goreniya [Evaporators of submerged combustion] / A. N. Alabovsky. – K. : Vishcha shcola, 1980. – 120 p.
3. *Spravochnik* po avtomatizatsii tseliullozno-bumazhnykh predpriiatii [Handbook of automation pulp and paper mills] / E. V. Tseshkovsky, N. S. Pirgach, G. D. Erashkin et al. – M. : Lesnaia promyshlennost, 1989. – 368 p.

УДК 66-9

КУБРАК А. І., к.т.н., проф.; СИТНІКОВ О. В., ас.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТА ПІД ЧАС НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Розглянуто процес ідентифікації систем автоматичного керування з типовим регулятором. Розраховано коефіцієнти ряду Маклорена, в якій розкладено нормовану передатну функцію.
Ключові слова: *екструзія, система керування, режим пуску.*

Постановка задачі. Ідентифікація об'єкта в системі автоматичного керування технологічними процесами є можливою лише на базі існуючого обладнання та систем. Експериментувати з окремим об'єктом неприпустимо, а з системою – дорого й довго. Проте деяку мінімальну кількість експериментів із системою налагоджувальники зобов'язані провести, щоб гарантувати стійкість системи. Під час таких експериментів має бути отримана перехідна характеристика системи для каналу «завдання регулятора – вихід».

Зазвичай, типовий регулятор реалізує ПІД-закон із передатною функцією $W_{\text{р}}(p) = k_r\left[1 + 1/(T_i p) + T_v p\right]$. Оптимізація системи за трьома параметрами (k_r, T_i, T_d), як зазначено вище, є неможливою. Вийти в область, наближену до оптимальної, можна шляхом комп'ютерного моделювання системи, але для цього треба мати адекватну модель об'єкта керування.

Мета статті – визначення коефіцієнтів ряду Маклорена нормованої передатної функції, що дозволить розрахувати параметри об'єкта автоматичної системи під час її налагодження.

Виклад основного матеріалу. У дослідженнях реалізуємо ПІ-закон $W_{\text{р}}(p) = k_r\left[1 + 1/(T_i p)\right]$. *Д*-складову блокуємо ($T_d = 0$), k_r і T_i – фіксуємо: вони мають гарантувати стійкість системи. Наявність *I*-складової гарантує відсутність статичної похибки регулювання. Перехідну характеристику системи фіксуємо у вигляді масиву $h_s = h(t)\big|_{t=sDt}$, $0 \le s \le L$, $L \le 600$, де $Dt = D/L$ – крок за часом між сусідніми елементами, D – час спостереження перехідної характеристики (достатній для виходу на новий усталений рівень).

Для розглянутого каналу ПІ-регулятор має забезпечити $h(t)\big|_{t>D} = 1 \pm \varepsilon$, де $\varepsilon \to 0$. Таким чином, перехідна характеристика системи буде нормованою.

Формуємо масив коефіцієнтів ряду Маклорена передатної функції замкненої системи [1]:

$$W_{x\to y}(p) = 1 + e_1 p + e_2 p^2 + ... + e_N p^N + ...$$

Передатна функція $W_{x\to y}(p) = \dfrac{W_{\text{рс}}(p)}{1 + W_{\text{рс}}(p)} = E(p)$, де $W_{\text{рс}}(p) = W_{\text{рег}}(p) W_{\text{об}}(p)$, отже $W_{\text{рс}}(p) = \dfrac{E(p)}{1 - E(p)}$.

Враховуючи передатну функцію, $W_{\text{об}}(p) = \dfrac{E(p)}{1 - E(p)} \dfrac{T_i p}{k_r(1 + T_i p)}$, або $W_{\text{об}}(p) = k_{\text{об}} \dfrac{E(p)}{F(p)(1 + T_i p)}$, де $k_{\text{об}} = T_i / k_r e_1$, $F(p) = 1 + f_1 p + f_2 p^2 + f_3 p^3$.

Отримаємо новий ряд $G(p) = 1 + g_1 p + g_2 p^2 + g_3 p^3 + ...$, де $g_s = f_s + T_i f_{s-1}$. Тоді нормована передатна функція

$$W^{\text{н}}_{\text{об}}(p) = \frac{1 + e_1 p + e_2 p^2 + e_3 p^3 + ...}{1 + g_1 p + g_2 p^2 + g_3 p^3 + ...}.$$

Розкладаємо її в ряд Маклорена: $\dfrac{1 + e_1 p + e_2 p^2 + e_3 p^3 + ...}{1 + g_1 p + g_2 p^2 + g_3 p^3 + ...} = 1 + r_1 p + r_2 p^2 + r_3 p^3 + ...$, множимо праву і ліву частини на $G(p)$, розкриваємо дужки й прирівнюємо коефіцієнти з однаковим степенем p: $r_1 + r_0 g_1 = e_1$, $r_2 + (r_0 g_2 + r_1 g_1) = e_2$, $r_3 + (r_0 g_3 + r_1 g_2 + r_2 g_1) = e_3$, де $r_0 = 1$. Розглядаючи ці співвідношення як систему рівнянь, розв'язуємо її послідовно відносно r.

Після узагальнення:

$$r_z = \begin{cases} 1, & \text{коли } z = 0, \\ e_z - \sum\limits_{s=0}^{z-1} r_s g_{z-s}, & \text{коли } z = 1, 2, 3, ... \end{cases}$$

У подальшому з рядом $R(p)$ можна працювати за загальною схемою ідентифікації [2, 3].

Якщо нормованою передатною функцією є ланцюжок з однакових аперіодичних ланок із запізненням $W^{\text{н}*}_{\text{об}}(p) = e^{-p\tau} / (T_p + 1)^n$, то до ряду $R(p)$ прирівнюють розкладені в ряди $e^{-p\tau}$ і $(T_p + 1)^n$

$$\frac{1 - \tau p + \dfrac{\tau^2}{2} p^2 - \dfrac{\tau^3}{6} p^3 + ...}{1 + nTp + \dfrac{n(n-1)}{2} T^2 p^2 + \dfrac{n(n-1)(n-2)}{6} T^2 p^3 + ...} = 1 + r_1 p + r_2 p^2 + r_3 p^3 + ...,$$

і, після перетворень: $r_1 + nT = -\tau$, $r_2 + r_1 nT + \dfrac{n(n-1)}{2} T^2 = \dfrac{\tau^2}{2}$, $r_3 + r_2 nT + r_1 \dfrac{n(n-1)}{2} T^2 + \dfrac{n(n-1)(n-2)}{6} T^3 = -\dfrac{\tau^3}{6}$.

При цьому n може приймати лише цілі невід'ємні значення.

Розглядаючи ці співвідношення як систему рівнянь, розв'язуємо її послідовно. Результат позначаємо $\varepsilon_3 = r_3 + r_2 nT + r_1 \dfrac{n(n-1)}{2} T^2 + \dfrac{n(n-1)(n-2)}{6} T^3 + \dfrac{\tau^3}{6}$.

Варіюючи n, мінімізуємо $|\varepsilon_3|$. За цієї умови n і відповідні $T = \sqrt{\dfrac{2r_2 - r_1^2}{n}}$ і $\tau = -r_1 - nT$ вважаємо шуканими коефіцієнтами передатної функції $W^{\text{н}*}_{\text{об}}(p)$.

Якщо об'єкт не має самовирівнювання, варто взяти структуру $W_{об}^{н*}(p)=\dfrac{e^{-p\tau}}{(T_p+1)^n p}$, а замість ПІ-регулятора реалізувати П-закон $W_р(p)=\dfrac{e^{-p\tau}}{(T_p+1)^n p}=\dfrac{e^{-p\tau}}{(T_p+1)^n}\dfrac{k_r}{p}$. Тоді $W_{рег}^{*}(p)=\dfrac{k_r}{p}$, $W_{об}^{*}(p)=\dfrac{e^{-p\tau^*}}{(T_p^*+1)^n}$.

Передатна функція $W_{об}^{*}(p)=\dfrac{E(p)}{1-E(p)}\dfrac{p}{k_r}$, $W_{об}^{*}(p)=k_{об}\dfrac{E(p)}{F(p)}$, де $F(p)=1+f_1p+f_2p^2+f_3p^3+\ldots$, $k_{об}=-1/k_re_1$, $f_s=e_{s+1}/e_s$, $s\geq 0$, звідки $W_{об}^{н*}(p)=\dfrac{1+e_1p+e_2p^2+e_3p^3+\ldots}{1+f_1p+f_2p^2+f_3p^3+\ldots}$.

Отже, $\dfrac{1+e_1p+e_2p^2+e_3p^3+\ldots}{1+f_1p+f_2p^2+f_3p^3+\ldots}=1+q_1p+q_2p^2+q_3p^3+\ldots$, звідки $q_1+q_of_1=e_1$, $q_2+(q_of_2+q_1f_1)=e_2$, $q_3+(q_of_3+q_1f_2+q_2f_1)=e_3$. Розглядаючи ці співвідношення як систему рівнянь, розв'язуємо її послідовно відносно q.

Після узагальнення:

$$q_z=\begin{cases}1, & \text{коли } z=0,\\ e_z-\sum\limits_{s=0}^{z-1}q_sf_{z-s}, & \text{коли } z=1,2,3,\ldots\end{cases}$$

Аналогічно $T^*=\sqrt{\dfrac{2q_2-q_1^2}{n}}$, $\tau^*=-q_1-nT^*$, а n визначається з умови $|\varepsilon_3^*|\to\min$, де

$$\varepsilon_3^*=q_3+q_2nT^*+q_1\frac{n(n-1)}{2}T^{*2}+\frac{n(n-1)(n-2)}{6}T^{*3}+\frac{\tau^{*3}}{6}.$$

Висновок. Одержано коефіцієнти ряду, в який розкладено нормовану передатну функцію, що дозволить розраховувати параметри об'єкта автоматичної системи під час її налагодження.

Список використаної літератури

1. *Симою М. П.* Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризированных систем / М. П. Симою. – М. : Приборостроение, 1958.
2. *Кубрак А. І.* Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем / А. І. Кубрак, А. І. Жученко, М. З. Кваско. – К. : Політехника, 2004. – 424 с.
3. *Кубрак А. І.* Ідентифікація динамічних характеристик елементів систем керування / А. І. Кубрак. – К. : ІСДО, 1995. – 208 с.

Надійшла до редакції 18.10.2014

Kubrak A. I., Sitnikov O. V.

ALGORITHM OF IDENTIFICATION TO THE OBJECT IN THE PROCESS OF DEBUGGING CONTROL SYSTEM

Identification of objects in a system of automatic process control in the chemical industry and the energy sector is possible only on the basis of existing equipment with existing automation systems. Experiment with individual object is unacceptable, and the system - it's expensive and long. Some minimum number of experiments with a system tuner must make in order to ensure stability of the system. In the course of these experiments was obtained transient response of the system to channel "task controller output". Typically the default controller implements PID.
Optimization of three parameters (kr, Ti, Td), as noted above, is unacceptable. Log in to the area close to the optimum performed by computer simulation system, but it was the need to obtain an adequate model of control object.
The algorithm of forming a model of the object based on the transient response of the system obtained experimentally. To conduct this experiment implemented PI.
Under D-component in the controller for the experiment was blocked by setting Td = 0. The presence of the I-component ensures that no static error control.

At the time of research value kr and Ti are fixed, which should ensure the stability of the system. Transient response of the system obtained in an array of values hs
At a certain method squares method for transient response of the system was sformuvanyy array E(p) coefficients of the Maclaurin transfer function of the closed system.
He was considered a particular case when, as a normalized transfer function acts as a chain of identical units aperiodic late.
The peculiarity of the work of the above-mentioned object is that n can take only non-negative value targets. Solved the problem by providing a fixed value of n, the system of equations for the coefficients of corresponding powers is solved with respect to T and τ. Compute the left side of the equation with derived values given n, T and τ.
This result is denoted as ε_3. Varying the claim sought to minimize ε_3. In fulfilling this condition n and the corresponding T and τ taken for the desired values of the coefficients of the normalized transfer function.
As a result of this work received a number of factors which expanded in the normalized transfer function that allows you to calculate the parameters of the automatic system. The example of different approximating transfer functions.

Keywords: *identification of objects, the stability of the system, model object, the normalized transfer function.*

References

1. *Simoju M. P.* Opredelenie peredatochnyh funkcij po vremennym harakteristikam linearizirovannyh sistem [Determination of the transfer functions for time characteristics of the linearized system]. – M. : Priborostroenie, 1958.
2. *Kubrak A. I.* Kompiuterne modeliuvannia ta identyfikatsiia avtomatychnykh system [Computer modeling and identification of automatic systems] / A. I. Kubrak, A. I. Zhuchenko, M. Z. Kvasko. – K. : Politekhnyka, 2004. – 424 s.
3. *Kubrak A. I.* Identyfikatsiia dynamichnykh kharakterystyk elementiv system keruvannia [Identification of dynamic characteristics of the elements of control systems] / A. I. Kubrak. – K. : ISDO, 1995. – 208 s.

УДК 681.3.06

ЖУЧЕНКО А. І., д.т.н., проф.; КАРВАЦЬКИЙ А. Я., д.т.н., проф.; ЦАПАР В. С., ст. викл.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СКЛОВАРІННЯ

Статтю присвячено створенню математичної моделі процесу скловаріння шляхом отримання математичних моделей окремих фізико-хімічних явищ, що відбуваються під час цього процесу. Розглянуті такі фізико-хімічні аспекти, як горіння палива, плавлення шихти, гідро- й газодинаміка розплаву скломаси та газового середовища, теплообмін у скловарній печі. Описані фізичні спрощення та припущення процесу скловаріння, а також початкові й межові умови.
Ключові слова: *скловаріння, математична модель, система рівнянь Нав'є-Стокса, плавлення шихти, рівняння радіаційного переносу.*

Постановка проблеми. Скловарна піч є складним технологічним об'єктом. Щоб забезпечити її неперервне функціонування в заданому режимі й потрібну якість готової продукції, необхідна ефективна система керування. Її розроблення пов'язано зі значними труднощами, зумовленими необхідністю проведення досліджень на діючій печі, що призводить до отримання браку та виникнення аварійних ситуацій, що є неприпустимим. Щоб уникнути цього, систему керування скловарної печі досліджують, використовуючи її математичну модель.

Основи математичного моделювання виробництва скла закладено у 1970-х, але прийняття їх промисловістю розпочалося в 1980-х і прискорилося в 1990-х, супроводжуючись стрімким розвитком сучасних числових методів, програмного забезпечення зі значними можливостями оброблення даних і здешевленням обчислювальної апаратури. Загальною науковою проблемою є отримання математичної моделі процесу скловаріння, яка б повною мірою відображала всі складові процесу.

Аналіз попередніх досліджень. Серед літератури з математичного моделювання процесу скловаріння, найбільш широко представлені праці, присвячені зональному розрахунку теплообміну випромінюванням