

А.М. Сільвестров, д-р техн. наук

В.В. Самсонов, канд. техн. наук

A. Silvestrov, V. Samsonov

**АДАПТИВНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

**ADAPTIVE SYSTEM OF STABILIZATION OF PARAMETERS OF
TECHNOLOGICAL PROCESS**

Розглядається практичне застосування методів ноніусної ідентифікації і адаптації структури та параметрів системи автоматичного управління з еталонної моделлю на прикладі АСУТП витягання кварцових трубок.

Ключові слова: *кварцові трубки, методи адаптації і ідентифікації, моделі, нестационарність, стохастичні процеси, збурення, перехідні процеси*

The operational use of methods of vernier identification both adaptations of structure and parameters of an automatic control system with a standard model on an example ASCTP of an extract of quartz handsets is considered.

Key words: *quartz tubes, methods of adaptation and identification, non-stationarity, stochastic processes, disturbances, transitional processes*

Для того, щоб продукція українського виробника потрапила на світовий ринок і склала конкуренцію зарубіжним зразкам необхідно не просто автоматизувати процес її виробництва, а впровадити самі ефективні принципи керування: це адаптація систем управління до об'єкту керування на основі коректних методів його ідентифікації, адаптація процесу ідентифікації до нестационарності стохастичних процесів, що відбувається в об'єкті керування, адаптація еталонних моделей, оптимізація уставок та процесу стабілізації відповідних змінних

об'єкта.

Розглянемо застосування цих принципів на прикладі АСУТП витягування кварцової трубки заданих діаметру $d_{\text{вн.}}$ і товщини стінки $\delta_{\text{ст.}}$ з склоблоку, що має відповідні зовнішній D_3 і внутрішній $D_{\text{вн.}}$ діаметри (Рис.1).

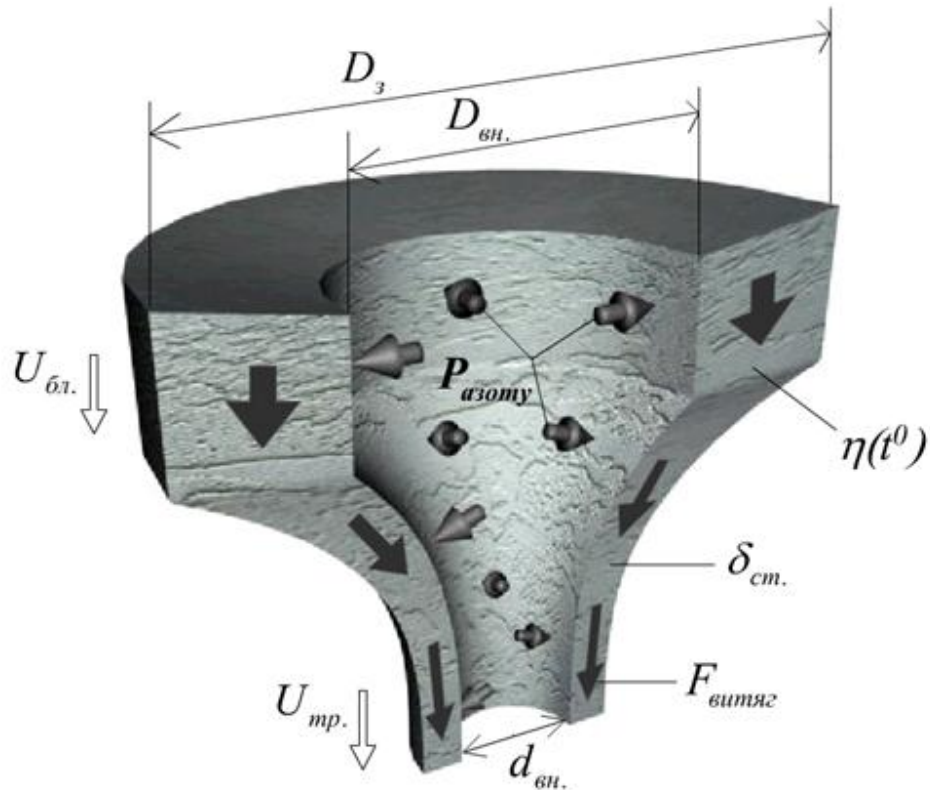


Рис.1. Ділянка блоку, де формується трубка

Блок розігрівають до температури t^0 розм'якшення і під дією зусилля $F_{\text{витяг.}}$ і тиску $P_{\text{азоту.}}$ зсередини він перетягується в трубку. Якщо швидкість подачі блоку - $U_{\text{бл.}}$, а витягування трубки - $U_{\text{тр.}}$, то, за умови незмінності маси, отримаємо співвідношення

$$\frac{D_3^2 - D_{\text{вн.}}^2}{d_{\text{з}}^2 - d_{\text{вн.}}^2} = \frac{U_{\text{тр.}}}{U_{\text{бл.}}} \quad (1)$$

або через товщину стінки $\delta_{\text{ст.}}$ трубки:

$$\delta_{\text{ст.}} (2d_{\text{вн.}} + \delta_{\text{ст.}}) = \frac{U_{\text{бл.}}}{U_{\text{тр.}}} (D_3^2 - D_{\text{вн.}}^2). \quad (2)$$

Формула (2) вказує на взаємозв'язок $d_{\text{вн.}}$ і $\delta_{\text{ст.}}$. Тому об'єкт керування слід розглянути як багатомірний з перехресними зв'язками: щоб забезпечити стабільність $d_{\text{вн.}}$ і $\delta_{\text{ст.}}$ необхідно водночас змінювати як тиск $P_{\text{азота}}$ так і швидкість $U_{\text{пр.}}$ витягування трубки. Окрім того слід застабілізувати швидкість $U_{\text{бл.}}$ подачі блока, температуру t^0 його, в'язкість η розігрітої скломаси або зусилля витягування (момент $M(\eta)$).

Фізико – хімічна нестабільність блока виступає як стохастичне збурення, компенсувати дію якого зобов'язана система автоматичного керування. Побудуємо таку систему, користуючись принципами, які викладено в роботах [1,2].

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ В РЕЖИМІ “РОБОТА”

Для обмежених відхилень від номінального режиму і інтервалу часу нелінійний нестационарний стохастичний процес, що протікає в об'єкті, може бути представлено стаціонарним векторне–матричним диференціальним оператором

$$L(t) \cdot X_B(t) = \tilde{L}(t) \cdot U(t) \quad (3)$$

або матричною передаточною функцією $W(s)$, якщо скористуватись перетворенням Лапласу:

$$X_B(s) = W(s) \cdot U(s), \quad (4)$$

де X_B - вектор – функція вихідних величин об'єкта, а саме $\delta_{\text{ст.}}$, $d_{\text{вн.}}$, $U_{\text{бл.}}$, t^0 , $M(\eta)$; $U(s)$, - вхідних: $U_{\text{пр.}}$, $P_{\text{азота}}$, $U_{\text{бл.}}^*$, струму I нагрівача блока, кутової швидкості Ω вентилятора обдуву блока при його місцевому перегріві. На рис.2 розкрито структуру $W(s)$, яка має перехресний зв'язок першого і другого каналів (передаточні функції W_{12} і W_{21}). Вплив інших каналів на ці враховано параметричним збуренням ξ , що діє на W_{ij} , $i, j=1,2$, окрім цього мають місце сигнальні збурення від нестабільності $\delta U_{\text{бл.}}^*$ швидкості $U_{\text{бл.}}$ та вплив t^0 на $M(\eta)$. Для їх компенсації система має ПІ – регулятори по окремим каналам, а для розв'язки першого і другого додатково

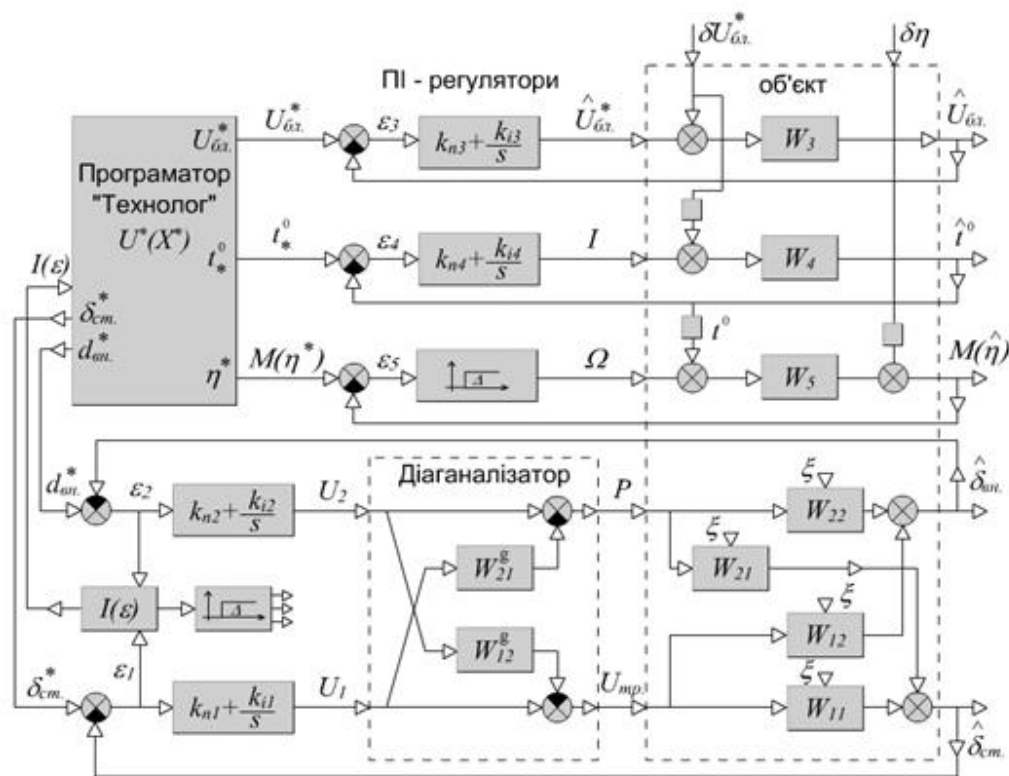


Рис.2. Структурна схема системи керування в режимі “Робота”

ввімкнено діаганалізатор $W_g(s)$. Тоді з умови, що

$$W_g(s) \cdot W(s) = \text{diag } W(s) \quad (5)$$

визначають оператори W_{ij}^g діаганалізатора:

$$W_{12}^g(s) = -W_{12} \cdot W_{11}^{-1}(s), \quad W_{21}^g(s) = -W_{21} \cdot W_{22}^{-1}(s). \quad (6)$$

Шляхом настройки параметрів k_n і k_I ПІ – регулятора динаміка кожного з каналів наближається до динаміки еталонної моделі (рис.3). Для цього за принципом мінімальної складності апроксимується відповідний канал об'єкта інерційного каналу першого порядку (Рис.4). Тоді за умови еквівалентності еталонної моделі (Рис.3) і САК і – го каналу, знаходять коефіцієнти ПІ – регулятора:

$$k_n = k_{em} \cdot k_{ii}^{-1} \cdot \tau_{ii}; \quad k_I = k_{em} \cdot k_{kk}^{-1}. \quad (7)$$

П'ятий канал – аварійний канал обдуву блоку має релейний регулятор, що спрацює за умови $M(\eta^*) - M(\eta) > \Delta$.

Блок $I(\varepsilon)$ контролює якість вихідного продукту (відхилення діаметру і товщини трубки) і у випадку зниження якості система переходить в режим “Навчання” (Рис.5).

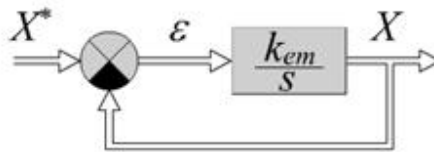


Рис.3. Еталонна модель

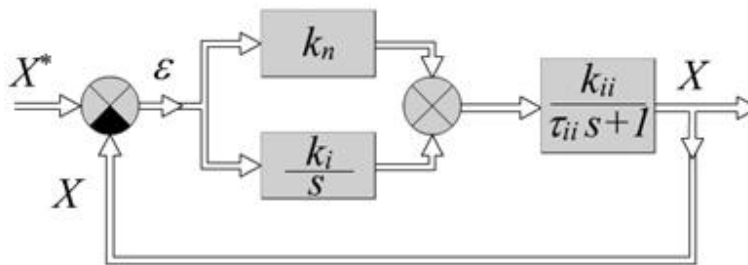


Рис.4. САК з ПІ – регулятором

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ В РЕЖИМІ “НАВЧАННЯ”

Перехід з режиму “Робота” в режим “Навчання” здійснюється шляхом розмикання ключа 3 і замикання інших ключів (Рис.5). Тоді на об’єкті подається тільки програмний вплив U_0 , а також тестуючий вплив δU . У блоці 7 визначається модель $w_M(s)$ об’єкта і, відповідно до її параметрів, блоками 8, 9 настраюються за алгоритмом (6) діагностизатор $w_g(s)$ і за алгоритмом (7) ПІ – регулятори $w_p(s)$.

Режим “Навчання” обов’язково має місце на початку процесу витягування трубки і може виникати в процесі витяжки, якщо $I(\varepsilon) > \Delta$.

Розглянемо, як приклад, процес ідентифікації прямих w_{11} , w_{22} і перехресних w_{12} , w_{21} операторів об’єкта на початку процесу витягування. Залежно від знаку відхилень $d_{вн.}$ і $\delta_{ст.}$ від номінальних значень, починаючи з плюс чи мінус, з блоку ідентифікатора подається взаємо

The diagram illustrates an adaptive control system. It features a main feedback loop where the output X_6 is compared with a reference U^* to produce an error signal ϵ . This error signal is used to adapt the control signal U and a feedforward path. The feedforward path consists of two parallel branches: one with blocks $W_p(s)$ and $W_g(s)$ in series, and another with block $W(s)$. The output of the feedforward path is summed with the feedback signal to produce the final output X_6 . The diagram also shows the adaptation of the feedforward path using a neural network structure with weights $W_p(s)$ and $W_g(s)$ and a bias U_0 . The adaptation is controlled by a gain U^* and a disturbance δU . The diagram includes various blocks and signals, such as $I(\epsilon)$, U^* , U , X_6 , ϵ , $W_p(s)$, $W_g(s)$, $W(s)$, δU , and U_0 .

Рис.5. Структурна схема системи

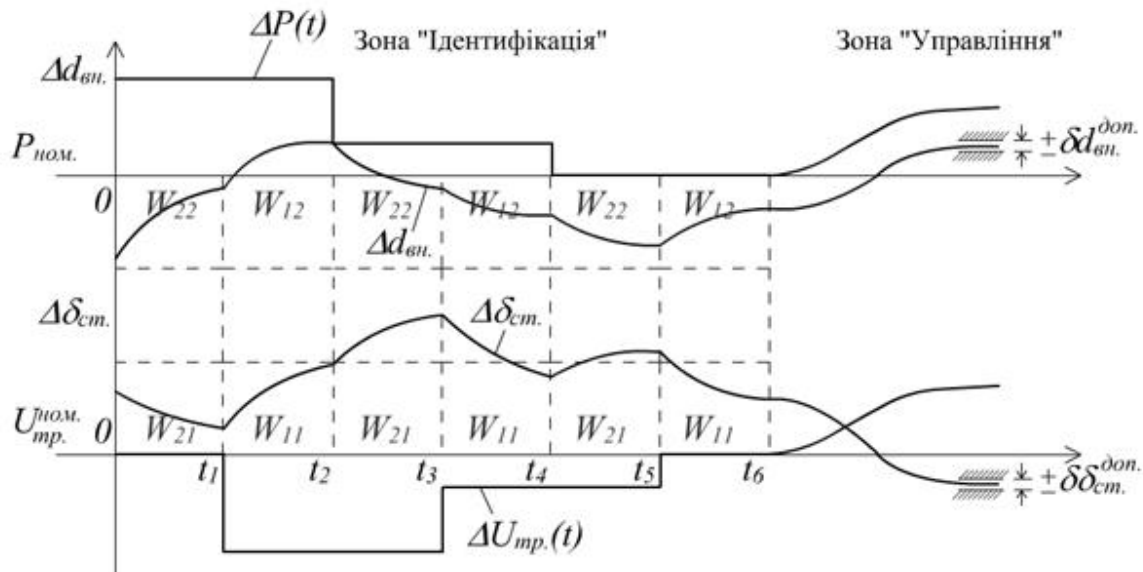


Рис.6. Графіки перехідних процесів по $d_{\text{вн.}}$ і $\delta_{\text{ст.}}$

В межах кожної сходинки перехідний процес $\Delta d_{en.}(t)$ та $\Delta \delta_{cm.}(t)$ практично закінчується і описується експонентною. Тоді оцінка коефіцієнта $\hat{k}_{ij}$, $i=1,2$ визначається, як відношення приросту вихідної змінної j -го каналу Δx_j до приросту відповідної вхідної ΔU_i , а оцінка

сталості $\hat{\tau}_{ij}$ часу – за робастним алгоритмом Тьюкі, як медіана упорядкованого по величині $\tau_{ij}(k)$ ряду:

$$\hat{\tau}_{ij} = Me\{\tau_{ij}(k)\}, \quad (8)$$

де

$$\tau_{ij}(k) = -\frac{t_k}{\ln \left| \frac{\Delta x_j(t_k)}{\Delta x_j(t_n)} - 1 \right|},$$

$k = \overline{0, n}$ - дискретний час конкретної ділянки $[t_\ell, t_{\ell+1}]$, $\ell = \overline{0, 5}$ (див. рис.6).

Подальше уточнення оцінок $\hat{k}_{ij}$, $\hat{\tau}_{ij}$ досягається лінійною апроксимацією їх у функції амплітуди тестуючого сигналу:

$$\begin{aligned} \hat{k}_{ij}(\Delta P, \Delta U_{mp.}) &= k_{ij}^* + a_1^{ij} \cdot \Delta P + a_2^{ij} \Delta U_{mp.} \\ \hat{\tau}_{ij}(\Delta P, \Delta \delta_{mp.}) &= \tau_{ij}^* + b_1^{ij} \cdot \Delta P + b_2^{ij} \Delta U_{mp.} \end{aligned} \quad (9)$$

Шукомими будуть k_{ij}^* і τ_{ij}^* . По визначенню параметрів об'єкта по всім каналам, настроюються параметри діагностизатора і регуляторів, ключі 1,2,4,5 розмикаються, а ключ 3 підключає САК до об'єкту, тобто система переходить в режим "Робота".

РОБОТА СИСТЕМИ В РЕЖИМІ НОНІУСНОГО УТОЧНЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА І АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ

Якщо в режимі "Робота" функціонала $I(\varepsilon)$ (Рис.2,5) суттєво менше Δ і керуючі впливи змінюються несуттєво, то в підсистему "Технолог" поступає інформація об U^* , яка уточнює технологічну карту режимів, тобто співвідношення $X_B^*(U^*)$ між номінальними значеннями вхідних і вихідних змінних об'єкта. Далі при цих значеннях U^* комутатор 3 (Рис.5) знов розмикаються, а замикаються інші і система переходить в режим ноніусного уточнення моделі об'єкта.

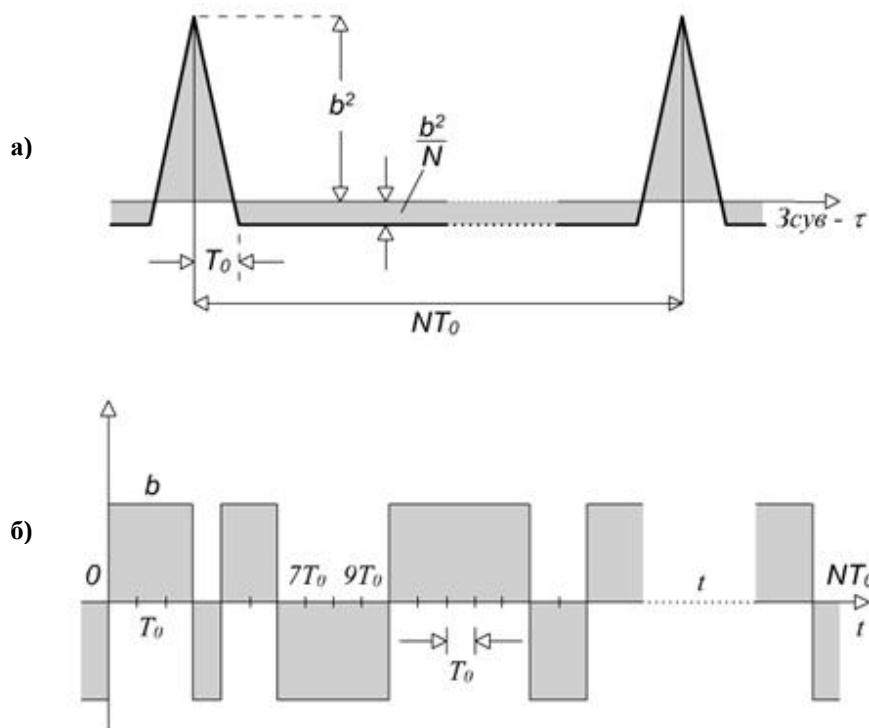


Рис.7. Кореляційна функція (а) сигналу (б)

Для цього з блоку 8 (Рис.5) на відповідні канали подаються взаємо – і самонекорельовані псевдо – випадкові бінарні послідовності тестуючих сигналів (Рис.7) і за методом найменших квадратів для згладжених даних уточнюються параметри k_{ij} , τ_{ij} базових моделей, визначаються похибка апроксимації об'єкта базовими моделями і далі тим же методом оцінюються параметри уточнюючих операторів w_y ноніусних моделей за умови вже відомий – базової. Наприклад, інертно – диференційного оператора каналу стабілізації температури:

$$w_y(s) = \frac{T_4 s + 1}{\tau_4 s + 1}. \quad (10)$$

Тоді ноніусна модель має вид:

$$W_{M4} = \frac{k_4^*}{\tau_4^* s + 1} \cdot \frac{T_4 s + 1}{\tau_4 s + 1}. \quad (11)$$

А щоб динаміка відповідала еталонній відповідно коректується алгоритм управління шляхом підключення до $w_y(s)$ (Рис.8).

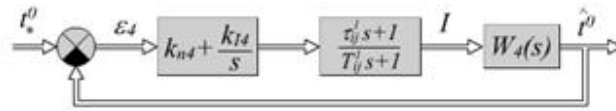


Рис.8. Ноніусна корекція каналу стабілізації t^0

В процесі ноніусної ідентифікації контролюється значення $I(\varepsilon)$ і, при наближенні його до Δ , система переходить в режим “Робота” з тою моделлю, яку вдалося визначити. Цим досягається адаптивність до нестационарності збурень: чим стаціонарніше процес, тим точніша модель і менше значення $I(\varepsilon)$. Але і за умови нестационарності система встигає побудувати базову просту модель і забезпечити стійкість і допустиму якість процесу керування.

Окрім цього, якщо $I(\varepsilon) \ll \Delta$, система може зменшувати інерційність еталонних моделей і відповідно каналів стабілізації технологічних параметрів.

Висновки. Отримані результати досліджень покладено в основу проектування АСУТП, яка технічно реалізована як ієрархічна система з розподіленим управлінням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5 томах. Том 2. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. Под редакцией К.А. Пупкова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004, 735с.
2. Сільвестров А.М., Резніченко В.М. Спосіб вимірювання аеродинамічних коефіцієнтів повздовжнього руху літаків. Патент N48566A, Бюл. N8 від 15.08.2002р.