

**НОНІУСНА АДАПТИВНА ВИСОКОТОЧНА СИСТЕМА
СТАБІЛІЗАЦІЇ СТОХАСТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ**

В.М. ГАЛАЙ, А.М. СІЛЬВЕСТРОВ, О.В. ШЕФЕР

Розглянуто практичне застосування методів ноніусної ідентифікації і адаптації структури і параметрів системи автоматичного управління з еталонною моделлю на прикладі АСУ ТП витяжки кварцових трубок.

ВСТУП

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

Розглянемо застосування цих принципів на прикладі АСУ ТП 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).

Блок розігрівають до температури t^0 розм'якшення, і під дією зусилля $F_{\text{витяг}}$ і тиску $P_{\text{азот}}$ 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

$$\frac{D_3^2 - D_{\text{вн}}^2}{d_3^2 - d_{\text{вн}}^2} = \frac{U_{\text{тр}}}{U_{\text{бл}}} \quad (1)$$

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

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

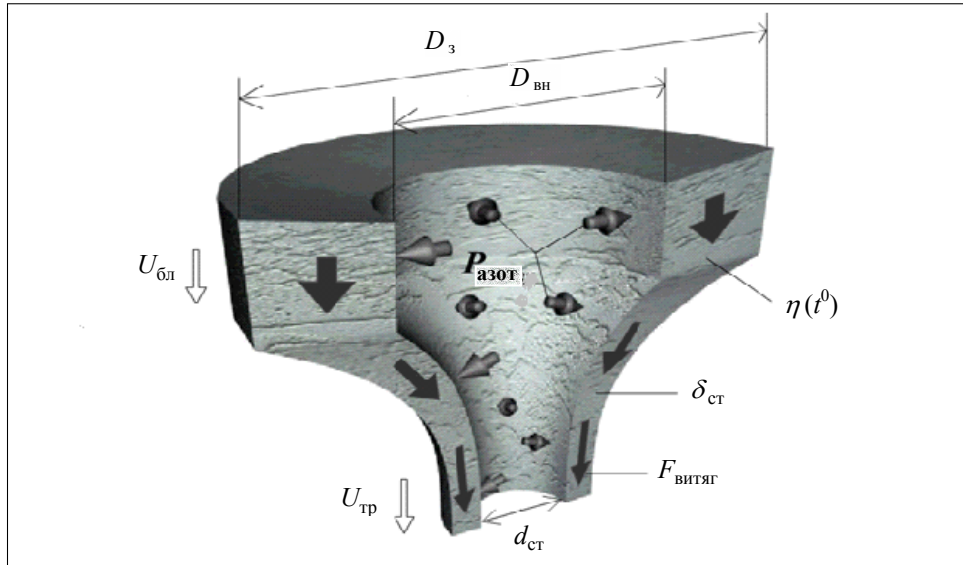


Рис. 1. Ділянка блоку, де формується трубка

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

Фізико-хімічна неоднорідність блока виступає як стохастичне збурення, компенсувати дію якого зобов'язана система автоматичного керування. Побудуємо таку систему, користуючись принципами, які викладено в роботах [1–3].

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 векторно-матричним диференціальним оператором

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

або якщо скористатись перетворенням Лапласу, матричною передаточною функцією $W(s)$.

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

де X_B — вектор-функція вихідних величин об'єкта, а саме $\delta_{ст}$, $d_{вн}$, $U_{бл}$, t^0 , $M(\eta)$; $U(s)$ — вхідних: $U_{тр}$, $P_{азот}$, $U_{бл}^*$, струму I нагрівача блока, ку-

тової швидкості Ω вентилятора обдуву блока при його місцевому перегріві. На рис. 2 наведено структуру $W(s)$, яка має перехресний зв'язок першого і другого каналів (передаточні функції W_{12} і W_{21}). Вплив на них інших каналів враховано параметричним збуренням ξ , що діє на W_{ij} , $i, j = 1, 2$. Також 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 вмикають діаганалізатор $W_g(s)$. Тоді за умови, що

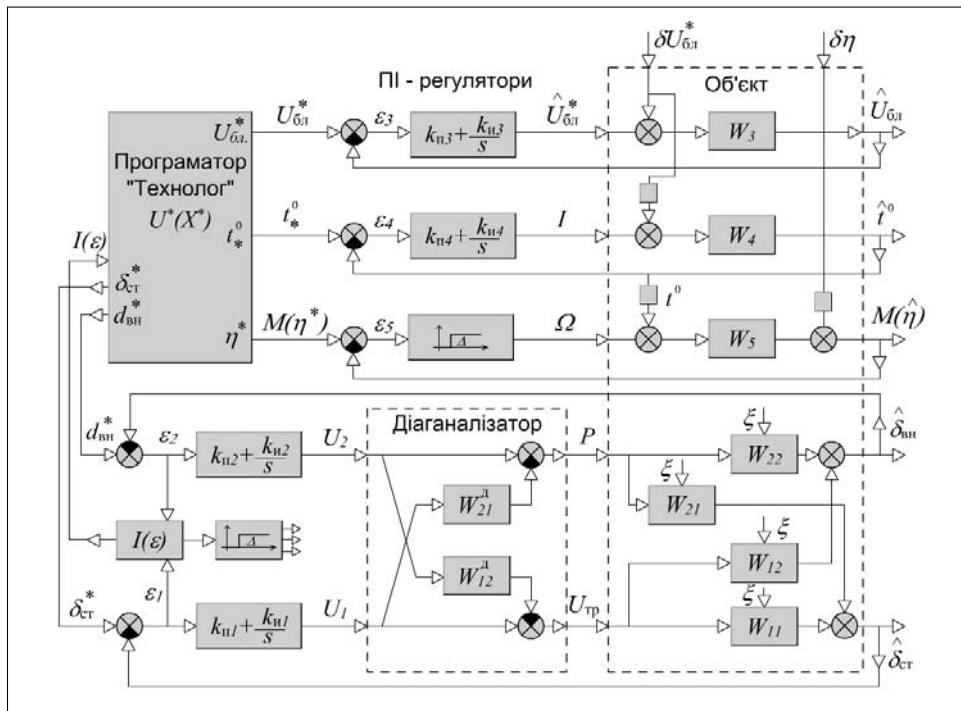


Рис. 2. Структурна схема системи керування в режимі «Робота»

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

визначають оператори W_{ij}^g діаганалізатора.

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

Настройкою параметрів k_n і k_I ПІ-регулятора динаміку кожного з каналів наближають до динаміки еталонної моделі (рис. 3). Для цього за принципом мінімальної складності [3] апроксимується відповідний канал об'єкта інерційного каналу першого порядку (рис. 4). Тоді за умови еквівалентності еталонної моделі (рис. 3) і САК i -го каналу, знаходять коефіцієнти ПІ-регулятора.

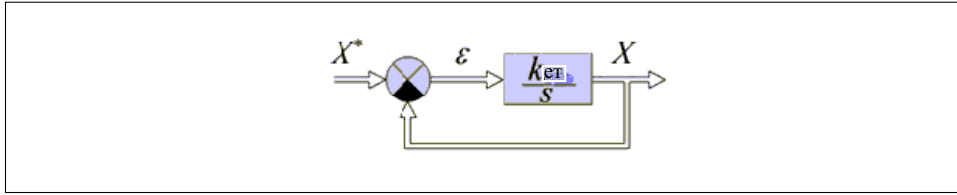


Рис. 3. Еталонна модель

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

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

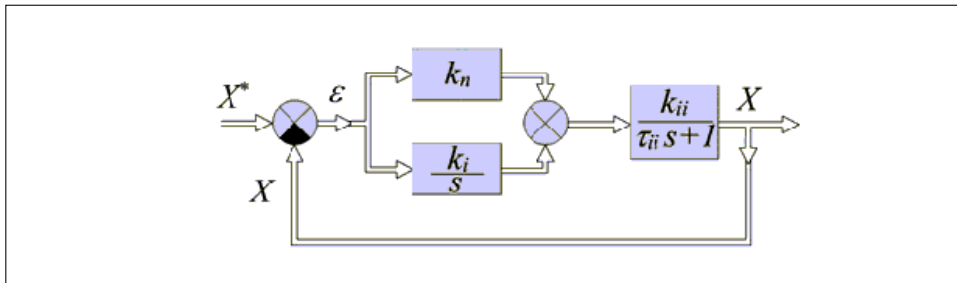


Рис. 4. САК з ПІ-регулятором

Блок $I(\varepsilon)$ контролює якість вихідного продукту (відхилення діаметру і товщини трубки), і у випадку зниження якості система переходить у режим «Навчання» (рис. 5).

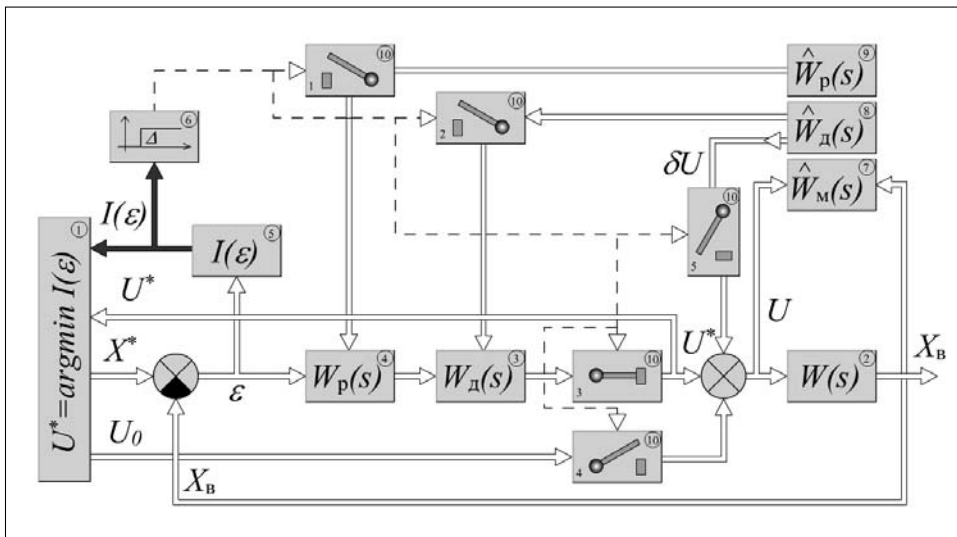


Рис. 5. Структурна схема системи

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ В РЕЖИМІ «НАВЧАННЯ»

Перехід з режиму «Робота» у режим «Навчання» здійснюється шляхом розмикання ключа 3 і замикання решти ключів (рис. 5). Тоді на об'єкт 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) діагностатор $W_g(s)$ 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'єкту на початку процесу витягування. Залежно від знаку відхилень $d_{\text{вн}}$ і $\delta_{\text{ст}}$ від номінальних значень, починаючи з плюс чи мінус, з блоку ідентифікатора подається взаємозалежна послідовність сходинок ΔP і $\Delta U_{\text{тр}}$, амплітуда яких поступово зменшується (рис. 6).

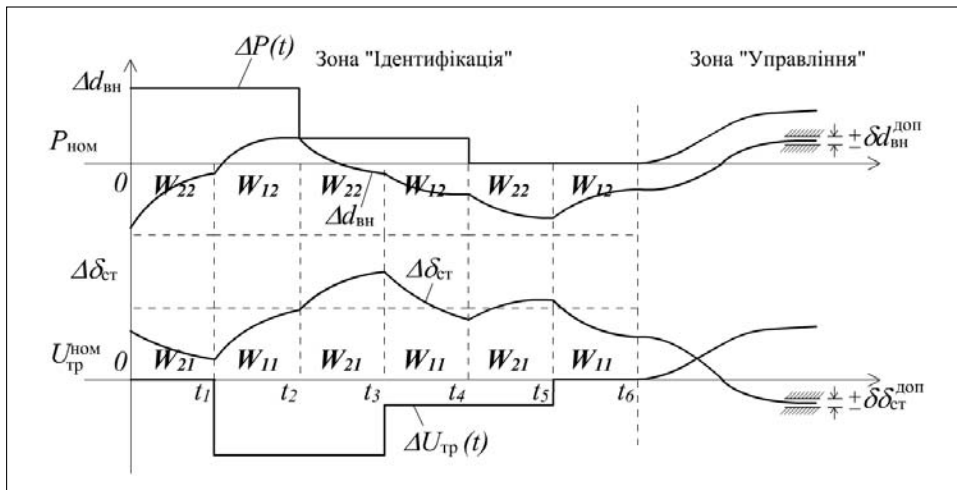


Рис. 6. Графіки перехідних процесів по $d_{\text{вн}}$ і $\delta_{\text{ст}}$

В межах кожної сходинок перехідний процес $\Delta d_{\text{вн}}(t)$ та $\Delta \delta_{\text{ст}}(t)$ практично закінчується і його можна описувати експонентою. 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 сталої $\hat{\tau}_{ij}$ часу — за робастним алгоритмом Тьюкі як медіана упорядкованого по величині $\tau_{ij}(k)$ ряду.

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

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 $[t_\ell, t_{\ell+1}]$, $l = \overline{0, 5}$ (рис. 6).

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

$$\hat{k}_{ij}(\Delta P, \Delta U_{\text{тр}}) = k_{ij}^* + a_1^{ij} \Delta P + a_2^{ij} \Delta U_{\text{тр}}, \quad (9)$$

$$\hat{\tau}_{ij}(\Delta P, \Delta \delta_{\text{тр}}) = \tau_{ij}^* + b_1^{ij} \Delta P + b_2^{ij} \Delta U_{\text{тр}}.$$

Шуканими будуть k_{ij}^* і τ_{ij}^* [4]. По визначеним параметрам об'єкта на всіх каналах настроюються діагностувальник і регулятори, ключі 1, 2, 4, 5 розмикаються, ключ 3 підключає САК до об'єкта, тобто система переходить у режим «Робота».

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

Якщо в режимі «Робота» значення функціонала $I(\varepsilon)$ (див. рис. 2 та 5) суттєво менше Δ , і керуючі впливи змінюються несуттєво, то в підсистему «Технолог» поступає інформація про U^* , яка уточнює технологічну карту режимів, тобто співвідношення $X_B^*(U^*)$ між номінальними значеннями вхідних і вихідних змінних об'єкта. Далі при цих же значеннях U^* комутатор 3 (див. рис. 5) знов розмикається, а решта комутаторів замикається, і система переходить у режим ноніусного уточнення моделі об'єкта.

У цьому режимі з блоку 8 (див. рис. 5) на відповідні канали подаються взаємо- і самонекорельовані псевдовипадкові бінарні послідовності [5] тестуючих сигналів (рис. 7), і за методом найменших квадратів для згладжених даних уточнюються параметри k_{ij} , τ_{ij} базових моделей, визначається похибка апроксимації об'єкта базовими моделями. Далі тим же методом оцінюються параметри уточнюючих операторів W_y ноніусних моделей за умови вже відомих параметрів — базової моделі. Наприклад, оператор каналу стабілізації температури

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

Тоді ноніусна модель

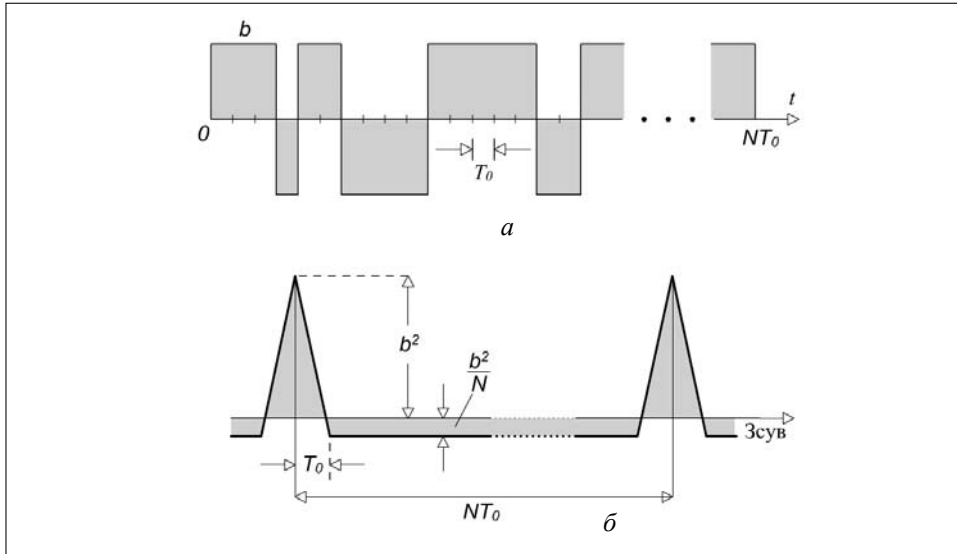


Рис. 7. Сигнал (а) та його кореляційна функція (б)

$$W_{M4} = \frac{k_4^*}{\tau_4^*s+1} \cdot \frac{T_4s+1}{\tau_4s+1} \quad (11)$$

А щоб динаміка відповідала еталонній, корегується алгоритм управління шляхом підключення до $W_y(s)$ (рис. 8).

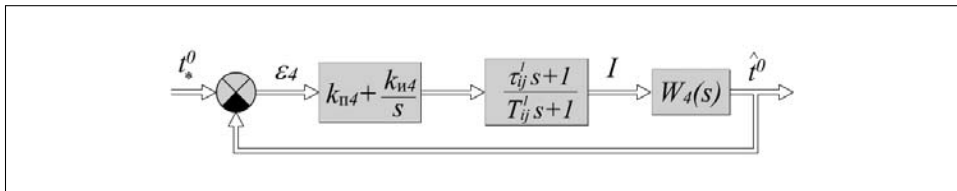


Рис. 8. Ноніусна корекція каналу стабілізації t^0

У процесі ноніусної ідентифікації контролюється значення $I(\varepsilon)$, і при наближенні його до Δ система переходить у 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.

АСУ ТП реалізовано як ієрархічну систему з розподіленим управлінням [5].

ЛІТЕРАТУРА

1. *Методы теории автоматического управления* // Под ред. К.А. Пупкова. — М.: МГТУ им. Баумана. — 2. — 2000. — 735 с.

2. *Сильвестров А.Н., Чинаев П.И.* Идентификация и оптимизация автоматических систем. — М.: Энергоавтоматиздат, 1983. — 280 с.
3. *Солодовников В.В., Бирюков В.Ф., Тумаркин В.И.* Принцип сложности в теории управления. — М.: Наука, 1977. — 342 с.
4. *Сільвестров А.М., Резніченко В.М.* Спосіб вимірювання аеродинамічних коефіцієнтів повздовжнього руху літаків // Патент № 48566А. — Бюл. № 8 від 15.08.2002 р.
5. *Многоуровневое управление динамическими объектами* // Васильев В.И. и др. — М.: Наука, 1987. — 309 с.

Надійшла 25.12.2003