

УДК 681.5

# АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ КВАРЦОВОЇ ТРУБКИ ЗА ЕТАЛОННОЮ МОДЕЛЛЮ

П.М. Лисиця

Асистент

Кафедра автоматики та електропривода  
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка  
пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011  
Контактний тел.: (05322) 66-53-01  
E-mail: lysytsya\_mpo@mail.ru

*Розроблено структурну схему системи керування процесом формування геометрії кварцової трубки та синтезовано дискретний алгоритм її функціонування, реалізований за градієнтним методом досягнення цільової умови адаптації і керування*

*Ключові слова: адаптивна система, еталонна модель, квадратичний функціонал якості, градієнтний метод, кварцова трубка*

*Разработана структурная схема системы управления процессом формирования геометрии кварцевой трубки и синтезирован дискретный алгоритм ее функционирования, реализованный на основе градиентного метода достижения целевого условия адаптации и управления*

*Ключевые слова: адаптивная система, эталонная модель, квадратичный функционал качества, градиентный метод, кварцевая трубка*

*The flow diagram of the process control system of quartz tube geometry forming is developed. The discrete functioning algorithm is synthesized. This algorithm is realized on the basis of gradient method of special purpose condition achievement of adaptation and control*

*Key words: adaptive system, standard model, quality quadratic functional, gradient method, quartz tube*

## Постановка проблеми

При керуванні процесом формування геометрії кварцової трубки виникає проблема отримання якісних показників її із-за нестабільності характеристик розм'якшеної скломаси у зоні формування трубки із кварцового блока.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для керування формуванням геометричних параметрів трубки при вертикальному витягуванні її із кварцового блока в роботах [1, 2] за основу взято обов'язковість виконання рівності подачі та знімання скломаси, вважаючи, що ця рівність виконується завжди як наслідок закону збереження маси. При цьому в системі відбувається коригування виміряного діаметру трубки за цим законом. Проте у процесі досліджень виявлено, що закон рівності подачі скломаси у вигляді блока та знімання її у вигляді трубки не завжди виконується внаслідок можливості накопичення або надмірного відтоку скломаси з зони розм'якшення. Вказаний факт може суттєво впливати на результати оцінки діаметра трубки,

що призводить до значного збільшення проценту браку.

У роботі [3] системи автоматичного керування в'язкістю скломаси використовується метод визначення сили витягування трубки, а, відповідно, і крутного моменту двигуна, за вимірними параметрами двигуна витяжної машини. При цьому, враховуючи тертя, великі маси та момент інерції елементів витяжної машини, а також значний тиск притискання колодок витяжної машини доля сили витягування у загальній силі, а відповідно і струму у результуючому струмі, який до того ж є нестабільним, не перевищує 7 – 10%, що не дозволяє визначити його з достатнім ступенем достовірності. Похибка визначення його може досягати  $\pm 16\%$ , що відображається на похибці визначення та стабілізації в'язкості, а, відповідно, і на якості роботи всієї системи. Причиною недостатньої якості роботи розглянутих систем у цілому є відсутність необхідної математичної моделі технологічного процесу формування геометрії кварцової трубки, яку можна було б використати як еталонну.

У роботі [4] запропоновано ідею побудови моделі розглянутого процесу, на основі редукції якої можна отримати еталонну модель для адаптивної системи керування. Тому стає можливим використання такої

редукованої моделі для синтезу відповідної адаптивної системи.

**Мета статті:** синтез адаптивної системи з еталонною моделлю при прямому адаптивному керуванні геометричними параметрами трубки при її формуванні із кварцового блока та дослідження роботи системи.

### Викладення основного матеріалу та результати досліджень

Для синтезу адаптивної системи керування запропоновано використати систему з прямим адаптивним керуванням (рис. 1), де контури адаптації працюють за замкнутим циклом, що ефективно дозволяє компенсувати зміну параметрів об'єкта, одночасно коригуваними параметрами регулятора. Основний контур та контур адаптації утворюють, таким чином, 1-й та 2-й рівень керування.

Третій рівень керування забезпечує необхідну динаміку зміни вхідного та вихідного сигналів еталонної моделі і реалізований контурами "регулятор внутрішнього радіуса  $R_v$  (регулятор товщини  $T_h$ ) - еталонна модель (ЕМ)" відповідних каналів.

За четвертим рівнем керування запропоновано використати регулятор балансу скломаси, забезпечуючий підтримання балансу скломаси у зоні розм'якшення за рахунок регулювання температури у цій зоні.

Для компенсації запізнення у каналі вимірювання діаметра трубки, яке створено за рахунок відстані між місцем фіксації діаметра трубки та місцем вимірювання цього діаметра, введено прогнозувальний пристрій. За рахунок фіксованої швидкості, яка задається від задатчика параметрів технологічного процесу, а також відстані між вимірювачем і межею фіксації трубки запізнення складає: для швидкості 0,9 м/хв. – 4 с, для швидкості 1,8 м/хв. – 2 с.

Для адаптивної системи з адаптивним оптимізатором рівняння стану адаптивного регулятора, тобто алгоритм адаптації і алгоритм керування об'єктом, для дискретної моделі системи мають вигляд:

$$\hat{b}_{k+1}^* = \lim_{k \rightarrow \infty} \Phi(\hat{b}_k^*; y_k; u_k; g_k), \quad (1)$$

$$u_k^* = \lim_{k \rightarrow \infty} U(u_{k-1}; y_k; g_k; \hat{b}_k^*), \quad (2)$$

де  $\Phi$  та  $U$  – функції, які визначаються в процесі синтезу адаптивної системи.

Для синтезу дискретної адаптивної системи з еталонною моделлю скористаємося рішенням задачі стеження із заданою динамікою аналогічно методу синтезу безперервної адаптивної системи з градієнтним безперервним алгоритмом адаптації.

У об'єкті, враховуючи комплексний коефіцієнт зв'язку (ККЗ) [5], основними каналами керування являються  $W_{11}(z)$ ,  $W_{12}(z)$ ,  $W_{23}(z)$ , а тому за ними реалізовано еталонні моделі процесу. Канал  $W_{12}(z)$  використано для установлення базового режиму процесу заданням фіксованого значення швидкості трубки. Дискретні передавальні функції еталонного об'єкта для першої базової точки виглядають наступним чином:

$$W_{11}^e(z) = \frac{b_{01}^e + b_{11}^e z^{-1}}{1 + a_{11}^e z^{-1} + a_{21}^e z^{-2}}, \quad (3)$$

$$W_{23}^e(z) = \frac{b_{06}^e + b_{16}^e z^{-1}}{1 + a_{16}^e z^{-1} + a_{26}^e z^{-2}}. \quad (4)$$

У виразах (3) та (4) відповідні коефіцієнти мають значення:

$$b_{01}^e = 0,0003, \quad b_{11}^e = -0,000234, \quad a_{11}^e = -1,763,$$

$$a_{21}^e = 0,7661; \quad b_{06}^e = 0,348, \quad b_{16}^e = -0,3423, \quad a_{16}^e = -1,931,$$

$$a_{26}^e = 0,9315.$$

Еталонні моделі каналів не враховують запізнення, тому що воно компенсується прогнозаторами відповідних каналів об'єкта, що в даній роботі не розглядається.

Для отримання необхідної функції відгуку на виході об'єкта керування запишемо рівняння

$$\left(1 + \sum_{j=1}^n a_j \cdot z^{-j}\right) \cdot y_t = \sum_{j=0}^{m \leq n} b_j \cdot z^{-j} \cdot U_t. \quad (5)$$

При заданому еталонному русі із вхідною дією  $gt$ , зв'язок між вхідною дією і реакцією  $yt$  записується рівнянням

$$\left(1 + \sum_{j=1}^n a_j^e \cdot z^{-j}\right) \cdot y_t^e = \sum_{j=0}^{m \leq n} b_j^e \cdot z^{-j} \cdot g_t. \quad (6)$$

Похибку системи можна виразити наступним чином

$$e_t = y_t - y_t^e.$$

Віднімаючи рівняння (6) від рівняння (5) і додавши до обох частин поліном  $\sum_{j=1}^n a_j^e \cdot z^{-j} \cdot y_t$ , отримуємо рівняння узагальненої похибки системи  $\sigma_t$

$$\sigma_t = \left(1 + \sum_{j=1}^n a_j^e \cdot z^{-j}\right) \cdot e_t = \sum_{j=0}^m b_j \cdot z^{-j} \cdot U_t - \sum_{j=1}^n (a_j - a_j^e) \cdot z^{-j} \cdot y_t - \sum_{j=0}^m b_j^e \cdot z^{-j} \cdot g_t. \quad (7)$$

На основі виведених співвідношень стає можливим отримати різницеве рівняння дискретного закону керування для двох виходів  $y_1$  і  $y_2$ .

Цільову умову керування адаптивної системи, подану у вигляді граничних рівностей для виходів  $y_1$  та  $y_2$ , можна записати наступним чином:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} |e_{1,k}| = \lim_{k \rightarrow \infty} |y_{1,k} - y_{1,k}^e| = 0, \quad (8)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} |e_{2,k}| = \lim_{k \rightarrow \infty} |y_{2,k} - y_{2,k}^e| = 0. \quad (9)$$

Вводячи узагальнену похибку, яка задає динаміку зміни попередньої похибки, отримаємо:

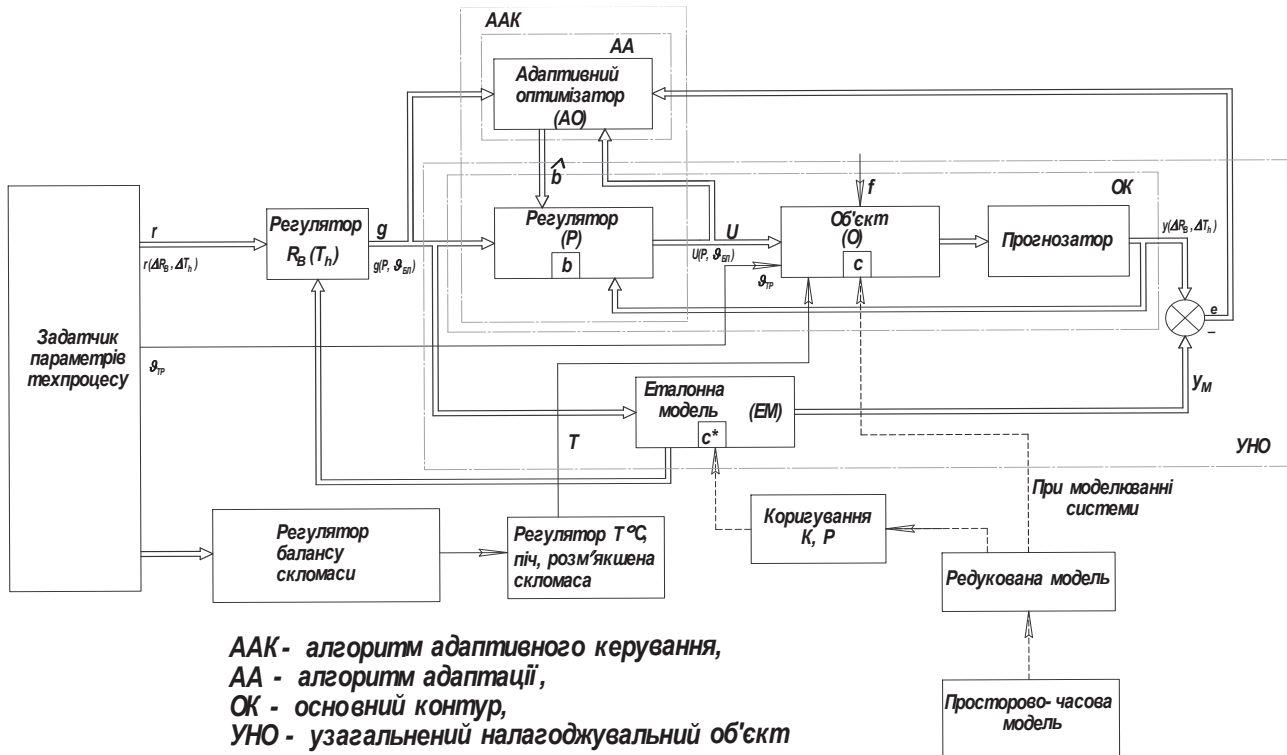


Рис. 1. Дискретна адаптивна система з еталонною моделлю та градієнтним методом оптимізації функціонала якості керування геометричними параметрами трубки

$$\sigma_{1k} = A_1^e(z^{-1}) \cdot e_{1,k}, \quad (10)$$

$$\sigma_{2k} = A_2^e(z^{-1}) \cdot e_{2,k}. \quad (11)$$

Із урахуванням вище приведеної похибки „ідеальний” дискретний закон керування у вигляді різницевого рівняння для двох каналів має вигляд:

$$u_{1,k} = b_{01}^{-1} \left( \sum_{j=0}^m b_{j1}^c g_{1,k-j} + \sum_{j=1}^n (a_{j1} - a_{j1}^e) \cdot y_{1,k-j} - \sum_{j=1}^m b_{j1} u_{1,k-j} \right), \quad (12)$$

$$u_{3,k} = b_{06}^{-1} \left( \sum_{j=0}^m b_{j6}^c g_{3,k-j} + \sum_{j=1}^n (a_{j6} - a_{j6}^e) \cdot y_{2,k-j} - \sum_{j=1}^m b_{j6} u_{3,k-j} \right), \quad (13)$$

де  $m, n$  – порядок чисельника та знаменника передавальної функції об'єкта (або еталонної моделі) відповідно.

Попередні рівняння, подані у векторній формі, можна записати наступним чином:

$$u_k = b_0^{-1} \cdot b^{*T} \cdot \psi_k = b_0^{-1} (b_1^{*T} \cdot \psi_{k,1} + \hat{b}^T \cdot \psi_{k,2}) \text{ при } b_0 > 0, \quad (14)$$

де „ідеальний” при  $u_k = u_k^*$  вектор параметрів регулятора основного контуру

$$b^{*T} = [b_1^{*T}; \hat{b}^T] = [b_0^c, \dots, b_m^c; \alpha_1, \dots, \alpha_n; \beta_1, \dots, \beta_m] \text{ з розмірністю } N = n + 2(m + 1);$$

$\psi_k^T = [\psi_{k,1}^T; \psi_{k,2}^T]$  – вектор вимірюваних значень решітчастих функцій;

$$\psi_k^T = [g_k, \dots, g_{k-m}; y_{k-1}, \dots, y_{k-n}; -u_{k-1}^*, \dots, -u_{k-m+1}^*, -u_{k-m}^*], \quad (15)$$

де  $[( \ ) ; ( \ )]$  – конкатенація двох елементів матриці. Цільовою умовою адаптації і керування вибрано локальний квадратичний функціонал  $J = \lim_{k \rightarrow \infty} Q(\sigma_k(\hat{b}_k, \psi_k))$  при знаходженні параметрів  $\hat{b}_k$  за алгоритмом

$$\hat{b}_k = \arg \min_{b_k} J. \quad (16)$$

На шляху досягнення вказаної мети для дискретного кінцевого значення  $k \leq k^*$  може бути досягнуто наближене виконання мети у вигляді нерівності для деякого достатньо малого  $\Delta > 0$ , а тому з метою загрублення алгоритму достатньо забезпечити виконання наступної умови

$$\lim_{k \rightarrow \infty} Q(\sigma_k) \leq \Delta. \quad (17)$$

Цільова функція має квадратичну залежність відносно узагальненої похибки системи

$$Q_t = Q(\sigma_k) = 0,5 \cdot \sigma_k^2, \quad (18)$$

$$\text{де } \sigma_k = A_e(z^{-1}) e_k = (\hat{b}_k - b_1)^T \psi_k,$$

де вектор  $\hat{b}_k = [a_1 - a_1^c, \dots, a_n - a_n^c; b_1, \dots, b_m]^T$  – вектор точних і невимірюваних параметрів моделі об'єкта.

Обчислення параметрів налагодження  $\hat{b}$  виконується у блоці алгоритму адаптації в результаті поточної мінімізації локального функціонала  $Q(\sigma_k(\hat{b}_k, \psi_k))$  за рекурентним алгоритмом:

$$\Delta \hat{b}_{k+1} = -\Gamma_k \nabla_{\hat{b}} Q(\sigma_k(\hat{b}_k, \psi_k)), \quad (19)$$

де  $\Gamma_k$  – крок алгоритму адаптації,

$$\nabla_{\hat{b}} Q(\sigma_k(\hat{b}_k, \psi_k)) = \left( \frac{\partial Q}{\partial \hat{b}_1}, \dots, \frac{\partial Q}{\partial \hat{b}_N} \right)^T - \text{градієнт функції}$$

$Q$  за аргументом  $\hat{b}$ .

Обчислюючи градієнт та виражаючи  $\Delta \hat{b}_{k+1}$  відносно  $\sigma_k$ , маємо

$$\Delta \hat{b}_{k+1} = -\Gamma_k \sigma_k \frac{\partial \sigma_k}{\partial \hat{b}_k}. \quad (20)$$

Таким чином, беручи похідну від  $\sigma_k$ , параметри  $\hat{b}_{k+1}$  знаходяться за формулою

$$\hat{b}_{k+1} = \hat{b}_k - \gamma_k \cdot \sigma_k \cdot \psi_k, \quad (21)$$

$$\text{де } \gamma_k = \frac{\gamma}{\beta \cdot \|\psi_k\|^2}, \quad 0 < \gamma < 2. \quad (22)$$

Повна сукупність рівнянь адаптивної системи для двох каналів регулювання при її моделюванні має вигляд:

$$u_{1,k}^* = b_{01}^{-1} \times \left( b_{01}^e \cdot g_{1,k} + b_{11}^e \cdot g_{1,k-1} + \hat{a}_{11,k} \cdot y_{1,k-1} + \hat{a}_{21,k} \cdot y_{1,k-2} - \hat{b}_{11,k} \cdot u_{1,k-1}^* \right), \quad (23)$$

$$u_{3,k}^* = b_{06}^{-1} \times \left( b_{06}^e \cdot g_{3,k} + b_{16}^e \cdot g_{3,k-1} + \hat{a}_{16,k} \cdot y_{2,k-1} + \hat{a}_{26,k} \cdot y_{2,k-2} - \hat{b}_{16,k} \cdot u_{3,k-1}^* \right), \quad (24)$$

$$y_{1,k} = b_{01} \cdot u_{1,k} + b_{11} \cdot u_{1,k-1} - a_{11} \cdot y_{1,k-1} - a_{21} \cdot y_{1,k-2}, \quad (25)$$

$$y_{2,k} = b_{06} \cdot u_{3,k} + b_{16} \cdot u_{3,k-1} - a_{16} \cdot y_{2,k-1} - a_{26} \cdot y_{2,k-2}, \quad (26)$$

$$y_{1,k}^e = b_{01}^e \cdot g_{1,k} + b_{11}^e \cdot g_{1,k-1} - a_{11}^e \cdot y_{1,k-1}^e - a_{21}^e \cdot y_{1,k-2}^e, \quad (27)$$

$$y_{2,k}^e = b_{06}^e \cdot g_{3,k} + b_{16}^e \cdot g_{3,k-1} - a_{16}^e \cdot y_{2,k-1}^e - a_{26}^e \cdot y_{2,k-2}^e, \quad (28)$$

$$e_{1,k} = y_{1,k} - y_{1,k}^e, \quad (29)$$

$$e_{2,k} = y_{2,k} - y_{2,k}^e, \quad (30)$$

$$\sigma_{1,k} = A_1^e(z^{-1}) e_{1,k} = a_{21}^e \cdot e_{1,k-2} + a_{11}^e \cdot e_{1,k-1} + e_{1,k}, \quad (31)$$

$$\sigma_{2,k} = A_2^e(z^{-1}) e_{2,k} = a_{26}^e \cdot e_{2,k-2} + a_{16}^e \cdot e_{2,k-1} + e_{2,k}, \quad (32)$$

$$\|\psi_{1,k}\|^2 = \psi_{1,k}^T z_{1,k} = g_{1,k}^2 + g_{1,k-1}^2 + y_{1,k-1}^2 + y_{1,k-2}^2 + u_{1,k-1}^2 + u_{1,k-2}^2, \quad (33)$$

$$\|\psi_{2,k}\|^2 = \psi_{2,k}^T z_{2,k} = g_{3,k}^2 + g_{3,k-1}^2 + y_{2,k-1}^2 + y_{2,k-2}^2 + u_{3,k-1}^2 + u_{3,k-2}^2, \quad (34)$$

$$\gamma_{1,k} = \frac{\gamma_1}{\beta_1 \cdot \|\psi_{1,k}\|^2}, \quad (35)$$

$$\gamma_{2,k} = \frac{\gamma_2}{\beta_2 \cdot \|\psi_{2,k}\|^2} \text{ при } 0 \leq \gamma_1, \gamma_2 < 2; \quad (36)$$

$$\hat{a}_{11,k+1} = \hat{a}_{11,k} - \gamma_{1,k} \cdot \sigma_{1,k} \cdot y_{1,k-1}, \quad (37)$$

$$\hat{a}_{21,k+1} = \hat{a}_{21,k} - \gamma_{1,k} \cdot \sigma_{1,k} \cdot y_{1,k-2}, \quad (38)$$

$$\hat{a}_{16,k+1} = \hat{a}_{16,k} - \gamma_{2,k} \cdot \sigma_{2,k} \cdot y_{2,k-1}, \quad (39)$$

$$\hat{a}_{26,k+1} = \hat{a}_{26,k} - \gamma_{2,k} \cdot \sigma_{2,k} \cdot y_{2,k-2}, \quad (40)$$

$$\hat{b}_{11,k+1} = \hat{b}_{11,k} + \gamma_{1,k} \cdot \sigma_{1,k} \cdot u_{1,k-1}, \quad (41)$$

$$\hat{b}_{16,k+1} = \hat{b}_{16,k} + \gamma_{2,k} \cdot \sigma_{2,k} \cdot u_{3,k-1}. \quad (42)$$

Початкові умови при реалізації алгоритму для всіх  $\psi_{1,k}$ ,  $\psi_{2,k}$  і всіх  $\hat{b}_{1,k-i}$ ,  $\hat{b}_{2,k-i}$  при  $i = 1, 2$  приймалися рівними нулю.

Синтезована за еталонною моделлю адаптивна система забезпечує регулювання приростів внутрішнього радіуса та товщини трубки за вхідними сигналами приростів тиску та швидкості блока. Однак для забезпечення керування абсолютним значенням радіуса слід мати регулятор, а також зворотний зв'язок в системі за радіусом і задатчик величини радіуса трубки, що формується. Аналогічний регулятор необхідно мати і для керування товщиною трубки. Вказані регулятори реалізують третій рівень керування системою.

Регулювання абсолютних значень радіуса та товщини трубки забезпечується регуляторами зміни цих параметрів  $\Delta R_B$ ,  $\Delta T_h$  та заданням базових значень вказаних параметрів  $R_{\text{внб}}$ ,  $T_{\text{hb}}$ .

Для синтезу дискретних регуляторів зміни внутрішнього радіуса  $\Delta R_B$  і зміни товщини трубки  $\Delta T_h$  використано метод розміщення полюсів дискретних передавальних функцій замкнутої системи. Такий підхід стає можливим завдяки заданим еталонним моделям об'єкта для двох каналів керування. Указані еталонні передавальні функції  $W_{11}^e(z^{-1})$  і  $W_{23}^e(z^{-1})$  є об'єктами керування для контурів  $\Delta R_B$  і  $\Delta T_h$  рівняння стану об'єкта, поданого у дискретній формі

$$X(k+1) = A \cdot X(k) + B \cdot U(k), \quad (43)$$

$$Y(k) = C \cdot X(k), \quad (44)$$

де для контуру  $\Delta R_B$

$$A = \begin{bmatrix} -a_{11} & 1 \\ -a_{21} & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_{01} \\ b_{11} \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0], \quad D = [0]; \quad (45)$$

для контуру  $\Delta T_h$

$$A = \begin{bmatrix} -a_{16} & 1 \\ -a_{26} & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_{06} \\ b_{16} \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0], \quad D = [0]. \quad (46)$$

Синтез кожного з регуляторів виконано за допомогою формули Аккермана. В результаті вектор коефіцієнтів  $K$  визначається наступним чином

$$K = [0 \quad 1] \cdot [B \quad AB]^{-1} \cdot \alpha(A), \quad (47)$$

де  $\alpha(A)$  – матричний поліном, утворений шляхом використання коефіцієнтів бажаного характеристичного рівняння  $\alpha(z)$ , тобто

$$\alpha(A) = A^2 + \alpha_1 A + \alpha_0 I. \tag{48}$$

Бажані передавальні функції для двох каналів регулювання мають вигляд

$$W_{\Delta R_B}^6 = W_{\Delta T_h}^6 = \frac{769,6}{z^2 - 1,94z + 0,9413}. \tag{49}$$

Коефіцієнти бажаних характеристичних рівнянь  $\alpha_0$  і  $\alpha_1$ , утворених на основі значень полюсів бажаних передавальних функцій для 1-ї базової точки, становлять

$$\begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0,941 \\ -1,94 \end{bmatrix} \nabla \Delta R_B \\ \begin{bmatrix} 0,941 \\ -1,94 \end{bmatrix} \nabla \Delta T_h \end{cases}. \tag{50}$$

За приведеними  $\alpha_0$  і  $\alpha_1$  обчислені коефіцієнти К зворотного зв'язку регуляторів  $\Delta R_B$  і  $\Delta T_h$  мають значення

$$\begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 150,29 \\ 193,44 \end{bmatrix} \nabla \Delta R_B \\ \begin{bmatrix} 7,3738 \\ 7,5229 \end{bmatrix} \nabla \Delta T_h \end{cases}. \tag{51}$$

Побудований таким чином канал керування  $\Delta R_B$  забезпечує достатнє співпадання результатів ( $\Delta R_{внзад} = 2000$  мкм), однак канал регулювання товщини  $\Delta T_h$  за рахунок впливових нулів передавальної функції об'єкта керування має достатньо велике перерегулювання вихідного параметра, а тому запропоновано до складу каналу ввести задатчик інтенсивності сигналу у вигляді цифрового фільтра з полюсами  $L_{61} = -0,984$ ,  $L_{62} = 0,984$ , завдяки чому вихідний сигнал  $\Delta T_h$  співпадає з бажаним вихідним сигналом ( $\Delta T_{h,зад} = 400$  мкм).

На рис. 2 і рис. 3 наведено результати комп'ютерного моделювання дискретної адаптивної системи з еталонною моделлю при прямому адаптивному керуванні.

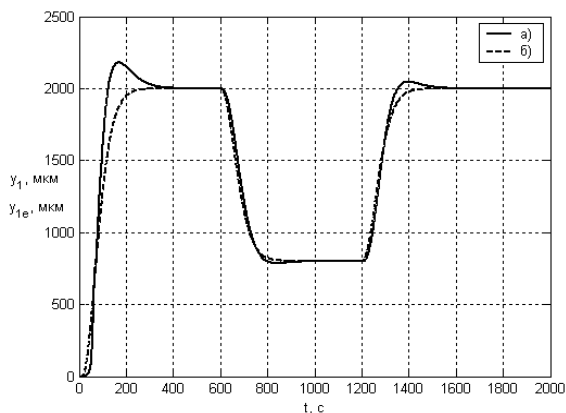


Рис. 2. Вихідні сигнали каналу  $W_{11}$ : а)  $y_1$ ; б)  $y_{1e}$

Початкові перерегулювання вихідних сигналів об'єкта пов'язані з початковими нульовими значення-

ми коефіцієнтів адаптивних регуляторів відповідних каналів та початковими значеннями вихідних сигналів прогнозаторів.

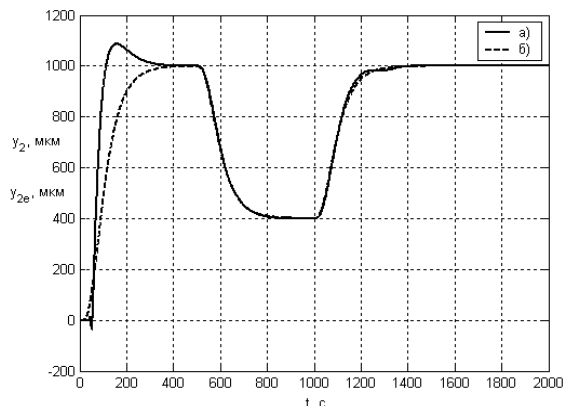


Рис. 3. Вихідні сигнали каналу  $W_{23}$ : а)  $y_2$ ; б)  $y_{2e}$

### Висновки

1. Для оптимізації процесу формування геометрії кварцової трубки запропоновано використати адаптивну систему з еталонною моделлю.
2. Синтез дискретних регуляторів внутрішнього радіуса і товщини трубки, які належать до третього рівня керування, виконано на основі методу розміщення полюсів замкненої системи на основі функції Аккермана.
3. Базуючись на трирівневій дискретній системі адаптивного керування радіусами кварцової трубки, запропоновано ввести четвертий рівень керування балансом скломаси для забезпечення балансу скломаси у зоні розм'якшення.
4. Дослідження чотирирівневої адаптивної системи шляхом аналізу її перехідних процесів за допомогою MATLAB підтвердили правильність запропонованих теоретичних методів побудови системи, яка дозволяє оптимізувати нестационарний процес формування геометрії кварцової трубки, таким чином забезпечивши теоретичну основу для практичної реалізації програмної та апаратної частин системи.

### Література

1. Галай, В.М. Ноніусна адаптивна високочотна система стабілізації стохастичних процесів / В.М. Галай, А.М. Сільвестров, О.В. Шефер // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2003. – №1. – С. 135–142.
2. Галай, В.М. Ноніусний підхід до побудови математичних моделей складних об'єктів керування / В.М. Галай // Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. „Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні” (ІКТМ 20060). – Харків: ХАІ, 2006. – С. 130.
3. Галай, В.М. Контроль в'язкості скломаси в зоні витяжки кварцової трубки за параметрами моделі електроприводу / В.М. Галай // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. Серія „Електротехніка, електроніка і електропривод”. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005. – №45. – С. 443–455.



4. Лисиця, П.М. Підсистемна реалізація автоматизованої системи керування нестационарним процесом виготовлення трубок із кварцового скла / П.М. Лисиця, М.П. Лисиця // Вестник НТУ „ХПИ”: тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». Вып. № 20. – Харьков, 2010. – С. 103–109.
5. Лисиця, М.П. Виявлення взаємних зв'язків у багатовимірному об'єкті та обґрунтування принципу керування з розв'язкою каналів процесом формування кварцової трубки / М.П. Лисиця, П.М. Лисиця, І.М. Сергієнко // Тез. доп. 62 наук. конф. проф., викл., наук. працівників, асп. та студентів університету. – Т. 1. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – С. 6–8.

*Висвітлено актуальність створення і впровадження автоматизованого управління об'єктами зберігання та переробки зерна з використанням енергозберіжних технологій. Поставлено основні ключові цілі створення АСУТП і наведено основні етапи їх реалізації*

*Ключові слова: автоматизоване управління, енергозберіжні технології, АСУТП*

*Отражена актуальность создания и внедрения автоматизированного управления объектами хранения и переработки зерна с использованием энергосберегающих технологий. Поставлены основные ключевые цели создания АСУТП и приведены основные этапы их реализации*

*Ключевые слова: автоматизированное управление, энергосберегающие технологии, АСУТП*

*Actuality of creation and introduction of the automated management the objects of storage and processing of grain is reflected with the use of energysaving technologies. Primary key purposes are put at creation of such control system and basic their implementation phases are resulted*

*Keywords: automated management, energy-saving technologies, ACSPT*

УДК 65.011.56

# ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Д. В. Воробієвський**  
Аспірант\*  
Контактний тел.: (044) 287-94-56  
E-mail: dmytriy.nuft@gmail.com

**А. П. Ладанюк**  
Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*  
Контактний тел.: (044) 289-52-83  
E-mail: ladanyuk@nuft.edu.ua

\*Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033

## Вступ

Українська економіка сьогодні є однією із самих енергоємних в регіоні. Енергоємність, еквівалента 1 дол. США, у нас приблизно у два-три рази вище ніж в середньому у світі [1]. Незважаючи на те, що ціни на енергоносії постійно підвищувалися протягом останніх років, далі за експертні висновки про цю проблему справа не просунулася.

В сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України явною постає проблема неефективного управління однією з найважливіших його складових – зерновим сектором, який є стратегічним ресурсом на зовнішніх світових ринках та забезпечує продовольчу безпеку країни.

Впровадження сучасних інформаційних технологій, а також останніх розробок у сфері промислової автоматизації підприємств зберігання і переробки