

УДК 681.518.5 (045)

Бельська О.А., к.т.н.

## СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ НЕПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Національний авіаційний університет

*Синтезована адаптивна автоматична система неперервного моніторингу параметрів, що характеризують поточний технічний стан енергетичного об'єкту. Ця система, як джерело первинної інформації про реальний технічний стан, є основною складовою частиною автоматизованої системи керування технічним станом динамічних об'єктів*

### Вступ

Використання стратегії технічного обслуговування за станом динамічних об'єктів (таких як газотурбінні двигуни літаків та суден, газотурбінні установки (ГТУ) компресорних станцій, ГТУ пересувних електростанцій та інше) вимагає неперервного контролю визначальних параметрів, що характеризують їх поточний технічний стан.

### Постановка задачі

Існуючі стратегії і програми технічного обслуговування динамічних об'єктів за станом умовно можна розділити на три групи: з контролем рівня надійності об'єкту експлуатації; з контролем параметрів об'єкту експлуатації; гібридні. Силові газотурбінні агрегати, що наразі знаходяться в експлуатації, є, з одного боку, об'єктами експлуатації з високою функціональною значимістю, але, в той же час, мають недостатній ступінь резервування, а також невисокий рівень експлуатаційної технологічності та контролепридатності. Тому для них доцільне застосування стратегії технічного обслуговування за станом з контролем параметрів, при якій передбачається динамічний контроль параметрів, що визначають фактичний поточний технічний стан кожного окремого об'єкта експлуатації. Під динамічним контролем будемо розуміти сукупність дій, що спрямовані на визначення поточного технічного стану

об'єкта, або його окремого вузла, за результатами вимірювання параметрів з високою діагностичною цінністю, які суттєво змінюються у часі. Динамічний контроль використовується для оцінки поточного технічного стану інерційних об'єктів, на відміну від статичного контролю, що використовується для оцінки технічного стану безінерційних об'єктів, або ж таких інерційних об'єктів, час перехідних процесів в яких є значно меншим ніж час, що відводиться на сам контроль. Вибір параметрів, що підлягають динамічному контролю, як правило, неоднозначний, але вимоги до вибору носять загальний характер, згідно з яким вимірювані параметри повинні мати прийнятні точність і стабільність показань у часі; володіти найбільшою серед інших параметрів діагностичною цінністю; ґрунтуватися на штатних вимірюваннях; забезпечувати простоту і зручність експлуатації вимірювальних засобів, що використовуються. Але, як свідчить досвід експлуатації енергетичних об'єктів, сумарний вплив несправностей, що в них виникають, на визначальні функціональні параметри, суттєво нижче рівня відхилень, які викликані зміною режиму роботи та зміною зовнішніх умов експлуатації. Для зменшення впливу зміни режимів та випадкових змін зовнішніх умов функціонування об'єкта зазвичай використовуються комплексні діагностичні параметри.

Слід зазначити також, що будь-який динамічний об'єкт технічного

обслуговування в першу чергу є об'єктом автоматичного регулювання, що використовується за своїм функціональним призначенням і характеризується сукупністю вхідних (регулюючих) параметрів, що утворюють вектор

$$\mathbf{u}(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t))^T,$$

сукупністю вихідних (регульованих) параметрів, що утворюють вектор

$$\mathbf{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_r(t))^T,$$

а також сукупністю спостережуваних (вимірюваних) параметрів, що утворюють вектор

$$\mathbf{y}(t) = (y_1(t), \dots, y_n(t))^T, \quad m \leq r < n.$$

При цьому основна задача системи автоматичного регулювання – забезпечення номінальних (штатних) режимів функціонування об'єкта технічного обслуговування.

З аналізу теоретичних та експериментальних досліджень відомо, що в більшості випадків в якості математичної моделі енергетичного об'єкта (котел, турбіна, насос, дизель та інше) може бути вибрана система звичайних нелінійних диференціальних та алгебраїчних рівнянь виду:

$$\begin{cases} \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \dot{\mathbf{x}}(t), \mathbf{u}(t)) = 0 \\ \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{y}(t), \mathbf{u}(t)) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Відомо, що при побудові систем автоматичного регулювання за принципом від'ємного зворотного зв'язку традиційно, починаючи з робіт О.М. Ляпунова, використовуються лінійні динамічні моделі об'єктів регулювання, що пояснюється малістю відхилень значень вихідних функціональних параметрів від їх номінальних значень, а саме це і дозволяє використовувати метод лінеаризації.

В роботі [1] в якості параметрів, що характеризують технічний стан об'єкта технічного обслуговування, запропо-

новано розглядати параметри його лінійної динамічної моделі (коефіцієнти підсилення, сталі часу), тобто параметри лінійних рівнянь (як диференціальних так і алгебраїчних), що записані у відхиленнях від номінальних режимів та в безрозмірній формі. Ці параметри характеризують технічний стан справного об'єкта і, водночас, є нечутливими до випадкових змін зовнішніх умов та режимів функціонування. Для об'єктів, що експлуатуються за методом технічної експлуатації до передвідмовного стану, набір визначальних параметрів і допуски на них вказуються розроблювачем виробу. Тому, при побудові лінійної динамічної моделі об'єкта варто керуватися наступним правилом: лінійна динамічна модель об'єкта повинна зв'язувати функціональні параметри об'єкта технічного обслуговування, що мають найбільшу діагностичну цінність, а параметри лінійної динамічної моделі повинні бути взаємоднозначно пов'язані з визначальними параметрами, що призначені розроблювачем виробу. У цьому випадку параметри лінійної динамічної моделі цілком характеризують технічний стан об'єкта, а зміна цих параметрів у часі характеризує процес "старіння" об'єкта технічного обслуговування. Неперервний контроль визначальних параметрів у такому разі здійснюється в результаті неперервного контролю й ідентифікації параметрів лінійної динамічної моделі, що дозволяє забезпечити зворотний зв'язок у контурі керування технічним станом об'єкта. Неперервність контролю визначальних параметрів гарантує обсяг інформації про технічний стан об'єкта, що виключає можливість раптових відмов. Для поступових відмов можуть бути розроблені спеціальні методи їхнього прогнозування, основною задачею яких є своєчасне виявлення передвідмовного стану об'єкта. Принципи побудови автоматичної системи динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан, і адаптивних моделей

прогнозування цих параметрів є універсальними для широкого класу динамічних об'єктів, а лінійна динамічна модель об'єкта технічного обслуговування, що задовольняє сформульованим вище вимогам, створюється для кожного об'єкта індивідуально. Зрозуміло, що параметри лінійної динамічної моделі не підлягають безпосередньому вимірюванню, а тому для їх неперервного контролю необхідно синтезувати адаптивну систему, яка буде здійснювати моніторинг у реальному часі.

У загальному випадку лінійна динамічна модель енергетичного об'єкта, що відповідає системі рівнянь (1), є системою нестационарних лінійних рівнянь, як диференціальних, так і алгебраїчних, яка записана у відхиленнях та в безрозмірній формі, і має вигляд:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) = \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) & (2) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t) & (3) \end{cases}$$

Рівняння (2) – це рівняння руху, а рівняння (3) – це рівняння спостереження.

Нехай  $t_0$  – час початку діагностування. Для кожного  $t > t_0$  за формулою Коші маємо:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) = & \Phi(t, t_0)\mathbf{x}(t_0) + \\ & + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau, \end{aligned}$$

де:

$\Phi(t, t_0)$  – нормована матриця Коші, стовпчики якої це  $r$  лінійно незалежних розв'язків однорідної системи диференціальних рівнянь, що відповідає системі диференціальних рівнянь (2), при чому  $\Phi(t_0, t_0) = \mathbf{E}$ , де  $\mathbf{E}$  – одинична матриця,  $\mathbf{x}(t_0)$  – вектор початкових умов, який, у загальному випадку, не дорівнює нулю.

Для вектора спостережуваних параметрів  $\mathbf{y}(t)$  при кожному  $t > t_0$  маємо:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(t) = & \mathbf{C}(t)\Phi(t, t_0)\mathbf{x}(t_0) + \\ & + \int_{t_0}^t \mathbf{C}(t)\Phi(t, \tau)\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau + \\ & + \mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t). \end{aligned}$$

Позначимо

$$\mathbf{y}_0(t) = \mathbf{y}(t) - \mathbf{C}(t)\Phi(t, t_0)\mathbf{x}(t_0),$$

тобто

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_0(t) = & \\ = & \int_{t_0}^t \mathbf{C}(t)\Phi(t, \tau)\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau + \\ & + \mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Тоді при кожному фіксованому  $t > t_0$  та справному стані енергетичного об'єкта множина усіх можливих реалізацій вектора  $\mathbf{y}_0(t)$  утворює, у загальному випадку,  $m$ -вимірну гіперплощину у  $n$ -вимірному евклідовому просторі ( $m < n$ ).

З іншого боку, при кожному фіксованому  $t > t_0$  співвідношення (4) визначає лінійний неперервний оператор  $\mathbf{A}_t$ , при чому областю значень цього оператора є  $m$ -вимірна гіперплощина в  $n$ -вимірному евклідовому просторі.

Як відомо [2], для кожного лінійного неперервного оператора  $\mathbf{A}_t$  існує спряжений оператор  $\mathbf{A}_t^*$ , а відповідно, при умові, що добуток  $\mathbf{A}_t^*\mathbf{A}_t$  є взаємнооднозначним оператором, може бути визначений оператор:

$$\mathbf{P}_t = \mathbf{E} - \mathbf{A}_t (\mathbf{A}_t^* \mathbf{A}_t)^{-1} \mathbf{A}_t^*,$$

де,  $\mathbf{E}$  – одиничний оператор, що діє в  $n$ -вимірному евклідовому просторі.

Легко бачити, що оператор  $\mathbf{P}_t$  задовольняє наступному співвідношенню:

$$\mathbf{P}_t^2 = \mathbf{P}_t^* = \mathbf{P}_t,$$

а це свідчить про те, що оператор  $\mathbf{P}_t$  при кожному фіксованому  $t$  є оператором ортогонального проектування, що діє в  $n$ -вимірному евклідовому просторі. Тому, якщо скоригований вектор спостережуваних параметрів  $\mathbf{y}_0(t)$  у

деякий фіксований момент  $t > t_0$  не буде належати гіперплощині справних станів динамічного об'єкта, тобто:

$$\begin{aligned} y_0^\perp(t) &= P_1 y_0(t) = \\ &= y_0(t) - y_{0pr}(t) \neq 0, \end{aligned} \quad (5)$$

де:

$y_{0pr}(t)$  – це проекція вектора  $y_0(t)$  на  $m$ -вимірну гіперплощину справних станів динамічного об'єкта, то реальний поточний технічний стан об'єкта не відповідає лінійній динамічній моделі справного об'єкта і необхідно виконувати ідентифікацію параметрів лінійної динамічної моделі, що буде відповідати

його новому поточному технічному стану. Таким чином, лінійна динамічна модель буде «старіти» синхронно зі зміною реального технічного стану динамічного об'єкта. Зазначимо, що умова (5) – є достатньою (а на практиці і необхідною) умовою невідповідності параметрів лінійної динамічної моделі поточному технічному стану динамічного об'єкта.

Структурна схема системи динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан енергетичного об'єкту, представлена на рис. 1.

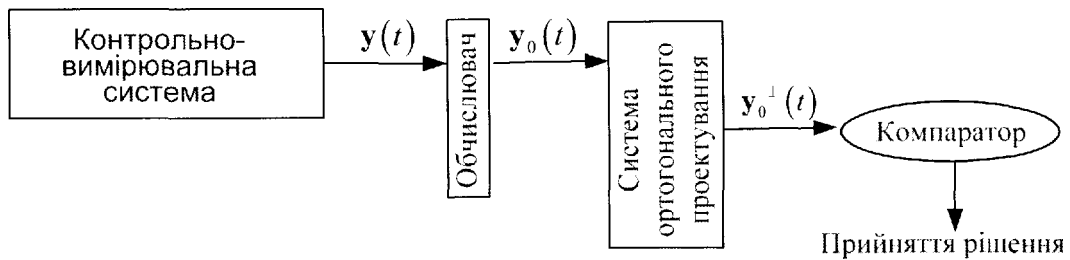


Рис. 1. Структурна схема системи динамічного контролю параметрів

У випадку, коли рівняння (2) - (3) є стаціонарними, а саме мають вигляд

$$\begin{cases} T\dot{x}(t) + x(t) = Ku(t) \\ y(t) = K_1 x(t) + K_2 u(t) \end{cases}, \quad (6)$$

де  $T$  – невідроджена матриця узагальнених сталих часу, розміру  $r \times r$ , а матриці  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  – матриці коефіцієнтів підсилення, розмірів  $r \times m$ ,

$$\begin{aligned} H(p) = E - (K_1(Tp + E)^{-1}K + K_2) \left[ K^T(T^T p + E)^{-1}K_1^T K_1(Tp + E)^{-1}K + \right. \\ \left. + K^T(T^T p + E)^{-1}K_1^T K_2 + K_2^T K_1(Tp + E)^{-1}K + K_2^T K_2 \right]^{-1} (K^T(T^T p + E)^{-1}K_1^T + K_2^T), \end{aligned} \quad (7)$$

де  $E$  – це  $n$ -вимірна одинична матриця. При цьому на вхід системи проектування з виходу обчислювача буде подаватися скоригований вектор спостережуваних параметрів

$$y_0(t) = y(t) - K_1 e^{-T^{-1}(t-t_0)} x(t_0).$$

Якщо матриці лінійної динамічної моделі  $T$ ,  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , що входять до системи рівнянь (6), ідеально відповідають поточному технічному

$n \times r$ ,  $n \times m$  відповідно, нормована матриця Коші  $\Phi(t, t_0)$  легко може бути знайдена, а саме

$$\Phi(t, t_0) = e^{-T^{-1}(t-t_0)}.$$

Це дозволяє одержати матрицю передаточних функцій  $H(p)$  оператора проектування (рис.1):

стану динамічного об'єкта, то для будь-якого  $t > t_0$

$$y_0^\perp(t) \equiv 0. \quad (8)$$

Порушення ж цієї тотожності у деякий момент часу  $t_1 > t_0$  свідчить про те, що деякі параметри лінійної динамічної моделі об'єкта не відповідають його реальному технічному стану в цей момент часу і підлягають корекції.

Істотною перевагою запропонованої схеми є те, що висновок про адекватність моделі поточному технічному стану об'єкта можна зробити при повній відсутності інформації про вхідні параметри і, тим більше, без будь-яких тестових впливів на об'єкт.

Зазначимо, що метод проектування вектора спостережуваних параметрів на гіперплощину справних станів динамічного об'єкта дозволяє не тільки контролювати параметри лінійної динамічної моделі, що характеризують поточний технічний стан динамічного об'єкта, але й є придатним для визначення рядка (рядків) матриці передаточних функцій лінійної динамічної моделі енергетичного об'єкта

$$W(p) = K_1(Tp + E)^{-1}K + K_2, \quad (9)$$

який містить параметри, що не відповідають поточному технічному стану. Ця процедура також може бути здійснена при повній відсутності інформації відносно вектора  $u(t)$  [1].

Слід зазначити, що запропонована система динамічного контролю є системою сигнального діагностування, що функціонує в реальному часі. Адаптація параметрів лінійної динамічної моделі до поточного технічного стану енергетичного об'єкта відбувається лише після того, як в деякий момент часу  $t_1$  вперше спостерігається нерівність  $y_0^+(t_1) \neq 0$ .

Ідентифікація нових значень параметрів лінійної динамічної моделі може бути виконана одним із відомих методів параметричної ідентифікації [3], при цьому елементи матриці сталих часу  $T$  можуть бути визначені внаслідок аналізу перехідних процесів, а елементи матриць  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  – внаслідок аналізу як перехідних, так і усталених режимів. Після ідентифікації нових значень параметрів лінійної динамічної моделі об'єкта матриця передаточних функцій системи ортогонального проектування також адаптується до нового технічного

стану об'єкта, внаслідок чого виконання тотожності  $y_0^+(t) \equiv 0$  поновиться і буде виконуватися до деякого моменту  $t_2 > t_1$ , у який будемо мати  $y_0^+(t_2) \neq 0$ . В момент часу  $t_2$  процедура адаптації системи неперервного моніторингу до нового технічного стану енергетичного об'єкта повторюється. Таким чином, синтезована автоматична система динамічного контролю параметрів лінійної динамічної моделі енергетичного об'єкта, адаптується до його поточного технічного стану і «старіє» синхронно з ним. Параметри лінійної динамічної моделі, що визначаються під час ідентифікації в моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , надходять до бази даних інтегральної інформаційно-обчислювальної системи, в якій на основі одержаної первинної інформації здійснюється оцінка поточного технічного стану енергетичного об'єкта та прогнозування технічного стану з метою своєчасного виявлення передвідмовного стану об'єкта, що контролюється.

Таким чином, контур керування технічним станом динамічного об'єкта стає замкнутим, що дає змогу перейти до стратегії технічного обслуговування за станом з контролем параметрів.

Проілюструємо одержані теоретичні результати на прикладі одновального турбореактивного двигуна (ТРД) з нерегульованим соплом. Лінійна динамічна модель для одновального ТРД наведена в [4] та має вигляд:

$$\begin{cases} (0.5p + 1)X_n = 0.333X_{G_r} \\ (0.5p + 1)X_{T_3} = (0.333p + 0.370)X_{G_r}, \\ (0.5p + 1)X_{T_4} = (0.293p + 0.06)X_{G_r} \end{cases}$$

де  $X_{G_r}$  – витрата палива (регулюючий параметр),  $X_n$  – число обертів двигуна,  $X_{T_3}$  – температура газу перед турбіною,  $X_{T_4}$  – температура газу за турбіною,  $X_n$ ,  $X_{T_3}$ ,  $X_{T_4}$  – спостережувані параметри.

Позначимо:

$u(t) = X_{G_r}$ ,  
 $y_0(t) = (y_1(t), y_2(t), y_3(t))^T =$   
 $= (X_{T_1}, X_{T_2}, X_{T_3})^T$  – скоригований вектор  
 спостережуваних параметрів.

Відповідно до співвідношення (9)

$$W(p) = \begin{pmatrix} w_1(p) \\ w_2(p) \\ w_3(p) \end{pmatrix} =$$

$$= K_1 (Tp + E)^{-1} K + K_2,$$

$$H(p) = \begin{pmatrix} \frac{0.197p^2 + 0.281p + 0.141}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} & \frac{0.111p + 0.123}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} & \frac{0.098p + 0.020}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} \\ \frac{0.111p + 0.123}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} & \frac{0.086p^2 + 0.035p + 0.115}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} & \frac{0.098p^2 + 0.128p + 0.022}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} \\ \frac{0.098p + 0.020}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} & \frac{0.098p^2 + 0.128p + 0.022}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} & \frac{0.111p^2 + 0.246p + 0.248}{0.197p^2 + 0.281p + 0.252} \end{pmatrix}.$$

Подальше моделювання будемо  
 виконувати в програмному середовищі  
*MATLAB*. Припустимо, що на виході  
 обчислювача спостерігається вектор:

$$y_0(t) = (y_{01}(t), y_{02}(t), y_{03}(t))^T.$$

$$K_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ -0.889 \\ -1.580 \end{pmatrix}, K_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.666 \\ 0.586 \end{pmatrix},$$

$$K = (0.333), T = (0.5).$$

Відповідно до співвідношення (7)  
 матриця передаточних функцій системи  
 ортогонального проектування  $H(p)$ :

На рис.2. наведено три варіанти  
 графіків координат вектора  $y_0(t)$ .

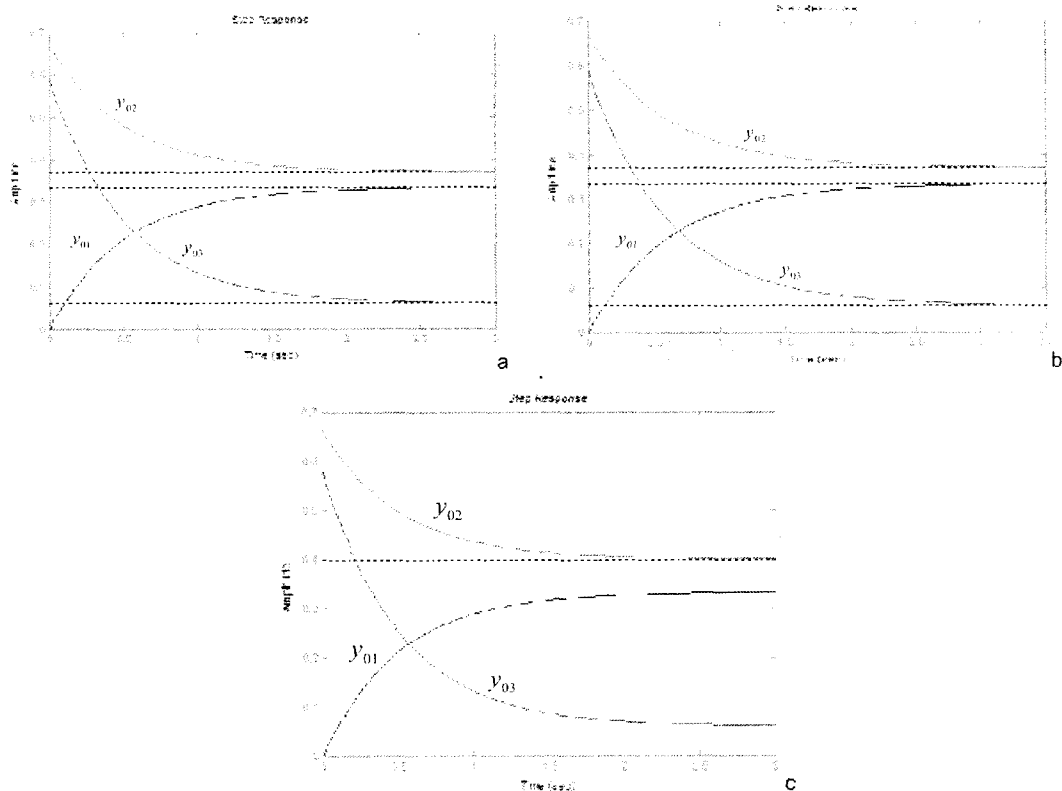


Рис. 2. Варіанти вектора спостереження

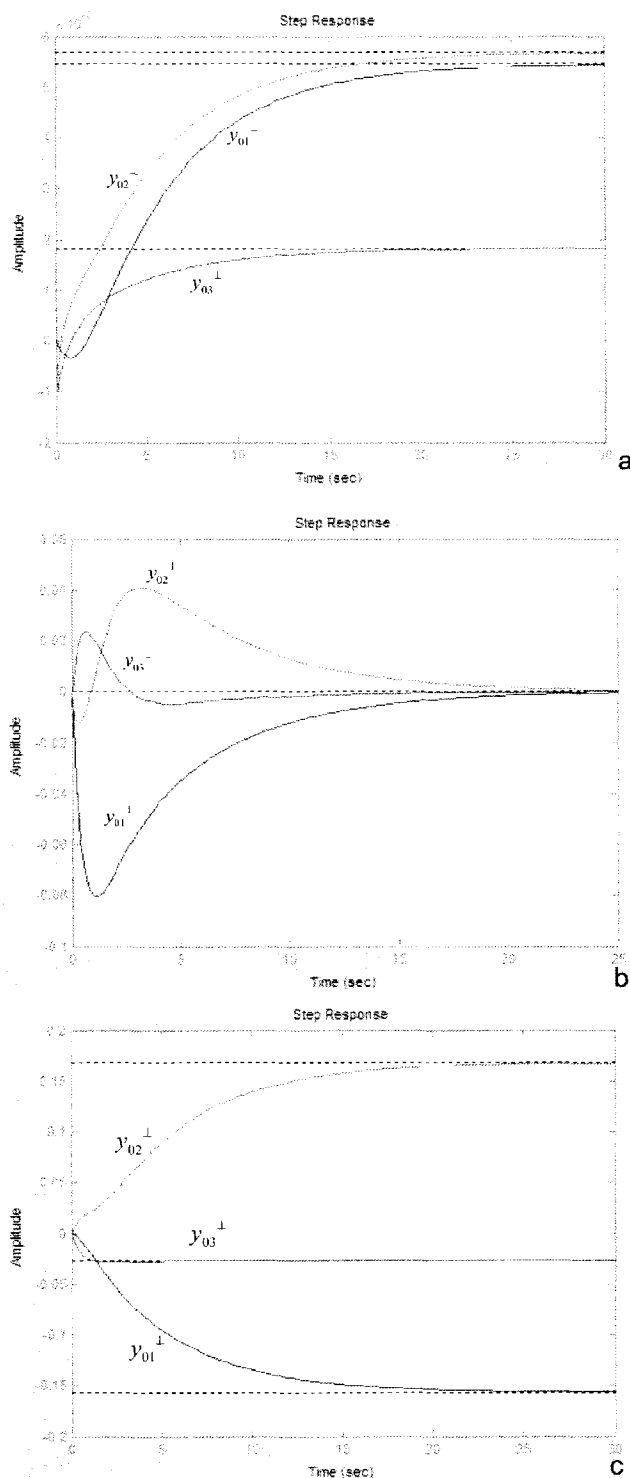


Рис. 3. Варіанти результатів обробки вектора спостереження

На виході системи ортогонального проектування спостерігаємо вектор  $y_0^{\perp}(t)$ , відповідні графіки координат якого наведено на рис. 3. На рис.3 (варіант *a*), кожна координата вектора  $y_0^{\perp}(t)$  відхиляється від

нульового значення не більше ніж на  $\varepsilon = 6 \times 10^{-4}$ , що знаходиться в межах прийнятої похибки обчислень  $\delta = 10^{-3}$ , тому, в цьому випадку, слід вважати  $y_0^{\perp}(t) \equiv 0$ , тобто не має підстав вважати, що параметри лінійної динамічної моделі

не відповідають поточному технічному стану ТРД. Максимальне відхилення першої координати вектора  $y_0^{\perp}(t)$  на рис.3 (варіант *b*) дорівнює  $\varepsilon = 8 \times 10^{-2}$ , що суттєво перевищує прийнятну похибку обчислень  $\delta = 10^{-3}$ , тому відхилення координат вектора  $y_0^{\perp}(t)$  від нуля є наслідком того, що деякі параметри лінійної динамічної моделі не відповідають поточному технічному стану ТРД. Враховуючи те, що по закінченню перехідного процесу  $y_0^{\perp}(t)$  наближається до нульового значення можна зробити висновок, що ідентифікації підлягає стала часу  $T$ . В результаті ідентифікації отримаємо нове значення сталої часу  $T = 0.6c$  (попереднє значення  $T = 0.5c$ ). Максимальне відхилення другої координати вектора  $y_0^{\perp}(t)$  на рис.3 (варіант *c*) дорівнює  $\varepsilon = 16.5 \times 10^{-2}$ , що також суттєво перевищує прийнятну похибку обчислень  $\delta = 10^{-3}$ , тому це відхилення є також наслідком невідповідності деяких параметрів лінійної динамічної моделі поточному технічному стану ТРД, при цьому по закінченню перехідних процесів встановлюються сталі ненульові значення координат вектора  $y_0^{\perp}(t)$ , що свідчить про необхідність корекції деяких елементів матриць коефіцієнтів підсилення. Використовуючи процедуру знаходження рядка матриці передаточних функцій, що містить елементи, параметри яких не відповідають поточному технічному стану об'єкта [2], визначаємо що корекції підлягає другий елемент матриці  $K_2$ . В результаті ідентифікації маємо нове значення  $k_{22} = 0.696$  (попереднє значення  $k_{22} = 0.666$ ).

### **Висновки# #**

1. Синтезована система динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан енергетичного об'єкта, яка є головним елементом автоматизованої

системи керування його технічним станом.

2. Істотною перевагою запропонованої системи динамічного контролю є те, що висновок про адекватність визначальних параметрів поточному технічному стану об'єкта можна зробити при повній відсутності інформації про вхідні параметри і, тим більше, без будь-яких тестових впливів на об'єкт.

3. Відмінною особливістю запропонованого підходу, який дозволяє реалізувати синтезовану систему динамічного контролю параметрів, є те, що при технічному обслуговуванні об'єкта можна використовувати як комбіновану стратегію технічного обслуговування за наробітком з прогнозуванням передвідмовного стану, так і стратегію технічного обслуговування за станом з контролем параметрів, без залучення складних систем як вбудованого, так і зовнішнього контролю в умовах штатного функціонування та відсутності статистичних даних по достатній кількості однотипних об'єктів.

### **Список літератури**

1. Аслаян А.Е., Бельська О.А. Забезпечення практичної безвідмовності функціонування газотурбінного двигуна при його експлуатації за технічним станом / Збірник наук. праць ДНДІ авіації. – К.: ДНДІ авіації, 2008. – Вип. 4(11). – С. 133-140.
2. Треногин В.А. Функциональный анализ. – М.: Наука, 1980. – 495 с.
3. Идентификация систем управления авиационных газотурбинных двигателей / В.Г. Августиневич, В.А. Акиндинов, Б.В. Боев и др. Под ред. В.Т. Дедеша. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
4. Шевяков А.А. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. – М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.