УДК 519.876.5:681.518.54

А.Е. Асланян, д.т.н., проф.,
О. А. Бєльська, к.т.н.
АМУ, м. Київ

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ СИГНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГЕНТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА СТАНОМ

Синтезована адаптивна система сигнального діагностування поточного технічного стану енергетичних об'єктів, яка є основною складовою частиною автоматизованої системи керування технічним станом.

Синтезирована адаптивная система сигнального диагностирования текущего технического состояния энергетических объектов, которая является основной составной частью автоматизированной системы управления техническим состоянием.

The adaptive system of signal-diagnosis the current technical condition of power facilities was being synthesized, that is the main part of the automated control system the technical condition

Використання стратегії технічного обслуговування (ТО) за станом енергетичних об'єктів (таких як котел, турбіна, насос, дизель тощо) вимагає неперервного контролю визначальних параметрів, що характеризують їх поточний технічний стан. Існуючі стратегії і програми ТО 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. Енергетичні об'єкти, 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 ТО за станом з контролем параметрів, при якій передбачається динамічний контроль параметрів, що визначають фактичний поточний технічний стан кожного окремого об'єкта експлуатації. Вибір параметрів, що підлягають динамічному контролю, як правило, неоднозначний, але вимоги до вибору мають загальний характер, згідно з яким вимірювані параметри повинні мати прийнятні точність і стабільність показань у часі, найбільшу серед інших параметрів діагностичну цінність; ґрунтуватись на штатних вимірюваннях; забезпечувати простоту і зручність експлуатації вимірювальних засобів. 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 на визначальні функціональні параметри, зазвичай, використовуються комплексні діагностичні параметри. Наприклад, в роботі [1], в якості таких діагностичних параметрів обрані відхилення вимірюваних функціональних параметрів (як їх фізичних значень, так і приведених до стандартних атмосферних умов) від номінальних величин, що відповідають справному стану об’єкту. Ці відхилення мають характер як високочастотних, так і низькочастотних коливань відносно номінальних значень, що обумовлено наявністю похибок вимірювання параметрів, похибок моделювання номінальних режимів, випадкових змін зовнішніх умов функціонування та інше.

Будь-який динамічний об'єкт ТО в першу чергу є об'єктом автоматичного регулювання, який використовується за функціональним призначенням, і характеризується сукупністю вхідних (регулюючих) параметрів, що утворюють вектор $\mathbf{u}(t)=\left(u_1(t),...,u_m(t)\right)^T$, сукупністю вихідних (регульованих) параметрів – вектор $\mathbf{x}(t)=\left(x_1(t),...,x_r(t)\right)^T$, та сукупністю спостережуваних (вимірюваних) параметрів, що утворюють вектор $\mathbf{y}(t)=\left(y_1(t),...,y_n(t)\right)^T$, $m\le r<n$. При цьому основна задача системи автоматичного регулювання − забезпечення номінальних (штатних) режимів функціонування об'єкта ТО. З аналізу теоретичних та експериментальних досліджень відомо, що в більшості випадків в якості математичної моделі енергетичного об’єкта може бути вибрана система звичайних нелінійних диференціальних та алгебраїчних рівнянь виду

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathbf{x}}{dt}=\mathbf{f}\left(\mathbf{x},\mathbf{u}\right) \\ \mathbf{y}=\mathbf{g}\left(\mathbf{x},\mathbf{u}\right) \end{cases}. \qquad (1)$$

Відомо також, що при побудові систем автоматичного регулювання за принципом від’ємного зворотного зв'язку традиційно, починаючи з робіт О.М. Ляпунова, використовуються лінійні динамічні моделі (ЛДМ) 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 [2] в якості параметрів, що характеризують технічний стан об'єкта ТО, запропоновано розглядати параметри його ЛДМ (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 ЛДМ об'єкта варто керуватися наступним правилом: ЛДМ об'єкта повинна зв’язувати функціональні параметри об'єкта ТО, що мають найбільшу діагностичну цінність, а параметри ЛДМ повинні бути взаємооднозначно пов'язані з визначальними параметрами, що призначені розроблювачем виробу. У цьому випадку параметри ЛДМ цілком характеризують технічний стан об'єкта, а зміна цих параметрів у часі характеризує процес "старіння" об'єкта ТО. Неперервний контроль визначальних параметрів у такому разі здійснюється в результаті неперервного контролю й ідентифікації параметрів ЛДМ, 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 прогнозування відповідних параметрів, основною задачею яких є своєчасне виявлення передвідмовного стану об'єкта. При цьому процес зміни параметрів, що характеризують технічний стан об’єкта, як правило, має монотонний характер. При прогнозуванні, зазвичай, використовують не моделі систем, а адаптивні моделі визначальних параметрів, що здатні реагувати на зміни технічного стану об'єкта ТО. Принципи побудови системи динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан, і адаптивних моделей прогнозування цих параметрів є універсальними для широкого класу динамічних об'єктів, а ЛДМ, що задовольняє сформульованим вище вимогам, створюється для кожного об'єкта індивідуально.

Зрозуміло, що параметри ЛДМ не підлягають безпосередньому вимірюванню, а тому для їх неперервного контролю необхідно синтезувати адаптивну систему, яка буде здійснювати моніторинг у реальному часі, і у разі відхилення будь-якого з параметрів ЛДМ від номінальних значень, що відповідають справному стану енергетичного об’єкта, сигналізувати про наявність такого відхилення.

У загальному випадку ЛДМ енергетичного об’єкта, що відповідає системі рівнянь (1), є системою нестаціонарних лінійних рівнянь (диференціальних і алгебраїчних), яка записана у відхиленнях та в безрозмірній формі, і має вигляд:

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

де $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$, $\mathbf{C}(t)$, $\mathbf{D}(t)$ – матриці-функції розмірів $r\times r$, $r\times m$, $n\times r$ і $n\times m$ відповідно. Рівняння (2) – це рівняння руху, рівняння (3) – це рівняння спостереження.

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

$$\mathbf{x}(t)=\mathbf{\Phi}(t,t_0)\mathbf{x}(t_0)+\int_{t_0}^{t}\mathbf{\Phi}(t,t_0)\mathbf{\Phi}^{-1}(\tau,t_0)\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau,$$

де $\mathbf{\Phi}(t,t_0)$ – нормована матриця Коші, стовпчики якої це r лінійнонезалежних розв'язків однорідної системи диференціальних рівнянь, що відповідає системі диференціальних рівнянь (2), при чому $\mathbf{\Phi}(t_0,t_0)=\mathbf{E}$, де $\mathbf{E}$ – одинична матриця розміру $r\times r$, а $\mathbf{x}(t_0)$ – вектор початкових умов, який у загальному випадку не дорівнює нулю. Для вектора спостережуваних параметрів $\mathbf{y}(t)$ при кожному $t>t_0$ маємо

$$\mathbf{y}(t)=\mathbf{C}(t)\mathbf{\Phi}(t,t_0)\mathbf{x}(t_0)+\int_{t_0}^{t}\mathbf{C}(t)\mathbf{\Phi}(t,t_0)\mathbf{\Phi}^{-1}(\tau,t_0)\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau+\mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t).$$

Позначимо

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

тобто

$$\mathbf{y}_0(t)=\int_{t_0}^{t}\mathbf{C}(t)\mathbf{\Phi}(t,t_0)\mathbf{\Phi}^{-1}(\tau,t_0)\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau+\mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t). \quad (4)$$

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 [3], 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

$$\mathbf{P}_t=\mathbf{E}-\mathbf{A}_t\left(\mathbf{A}_t^*\mathbf{A}_t\right)^{-1}\mathbf{A}_t^*, \quad (5)$$

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

$$\mathbf{y}_0^{\perp}(t) = \mathbf{P}_t \mathbf{y}_0(t) = \mathbf{y}_0(t) - \mathbf{y}_{0pr}(t) \neq 0, \quad (6)$$

де $\mathbf{y}_{0pr}(t)$ – це проекція вектора $\mathbf{y}_0(t)$ на $m-$вимірну гіперплощину справних станів динамічного об'єкта, то лінійна динамічна модель (2)-(3) не відповідає реальному поточному технічному стану об'єкта і має бути скоригована. Таким чином, ЛДМ буде «старіти» синхронно зі зміною реального технічного стану енергетичного об'єкта. Зазначимо, що умова (6) – є достатньою (а на практиці і необхідною) умовою невідповідності ЛДМ поточному технічному стану динамічного об'єкта.

У випадку, коли рівняння (2)-(3) – стаціонарні, а саме мають вигляд

$$\begin{cases} \mathbf{T}\dfrac{d\mathbf{x}}{dt} + \mathbf{x}(t) = \mathbf{K}\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{K}_1\mathbf{x}(t) + \mathbf{K}_2\mathbf{u}(t) \end{cases}, \quad (7)$$

де $\mathbf{T}$ – невироджена матриця узагальнених сталих часу, розміру $r \times r$, а матриці $\mathbf{K}$, $\mathbf{K}_1$, $\mathbf{K}_2$ – матриці коефіцієнтів підсилення, розмірів $r \times m$, $n \times r$, $n \times m$ відповідно, нормована матриця Коші $\mathbf{\Phi}(t,t_0)$ легко може бути знайдена як $\mathbf{\Phi}(t,t_0) = e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)}$, а це дозволяє одержати матрицю передаточних функцій $\mathbf{H}(p)$ системи ортогонального проектування, що відповідає оператору ортогонального проектування (5),

$$\mathbf{H}(p) = \mathbf{E} - \left(\mathbf{K}_1(\mathbf{T}p+\mathbf{E})^{-1}\mathbf{K} + \mathbf{K}_2\right) \times$$

$$\times \Big[\mathbf{K}^T\left(\mathbf{T}^T p + \mathbf{E}\right)^{-1}\mathbf{K}_1^T\mathbf{K}_1(\mathbf{T}p+\mathbf{E})^{-1}\mathbf{K} + \mathbf{K}^T\left(\mathbf{T}^T p + \mathbf{E}\right)^{-1}\mathbf{K}_1^T\mathbf{K}_2 +$$

$$+\mathbf{K}_2^T\mathbf{K}_1(\mathbf{T}p+\mathbf{E})^{-1}\mathbf{K} + \mathbf{K}_2^T\mathbf{K}_2\Big]^{-1} \times \left(\mathbf{K}^T\left(\mathbf{T}^T p + \mathbf{E}\right)^{-1}\mathbf{K}_1^T + \mathbf{K}_2^T\right), \quad (8)$$

де $\mathbf{E}$ – це n-вимірна одинична матриця.

Структурна схема системи динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан енергетичного об'єкту (сталих часу, які утворюють матрицю $\mathbf{T}$, та коефіцієнтів підсилення, які утворюють матриці $\mathbf{K}$, $\mathbf{K}_1$, $\mathbf{K}_2$), наведена на рис. 1.

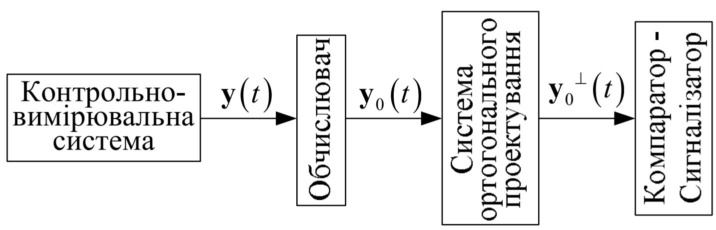

Рис. 1. Структурна схема системи сигнального діагностування

На вхід системи ортогонального проектування (рис.1) з виходу обчислювача надходить скоригований вектор спостережуваних параметрів

$$\mathbf{y}_0(t)=\mathbf{y}(t)-\mathbf{K}_1 e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)}\mathbf{x}(t_0).$$

Якщо матриці лінійної динамічної моделі $\mathbf{T}$, $\mathbf{K}$, $\mathbf{K}_1$, $\mathbf{K}_2$, що входять до системи рівнянь (7), ідеально відповідають поточному технічному стану динамічного об’єкта, то для будь-якого $t > t_0$

$$\mathbf{y}_0^{\perp}(t)\equiv 0. \quad (9)$$

Порушення ж цієї тотожності у деякий момент часу $t_1 > t_0$ свідчить про те, що деякі параметри ЛДМ 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 ортогонального проектування дозволяє не тільки контролювати параметри ЛДМ, що характеризують поточний технічний стан динамічного об’єкту, але й є придатним для визначення рядка (рядків) матриці передаточних функцій ЛДМ енергетичного об’єкта

$$\mathbf{W}(p)=\mathbf{K}_1\left(\mathbf{T}p+\mathbf{E}\right)^{-1}\mathbf{K}+\mathbf{K}_2, \quad (10)$$

який містить параметри, що не відповідають поточному технічному стану. Ця процедура також може бути здійснена при повній відсутності інформації відносно вектора $\mathbf{u}(t)$ [4].

Слід зазначити, що синтезована система системою сигнального діагностування, функціонує в реальному часі. Адаптація параметрів ЛДМ до поточного технічного стану енергетичного об’єкта відбувається лише після того, як в деякий момент часу t_1 вперше спостерігається нерівність $\mathbf{y}_0^{\perp}(t_1)\neq 0$. Ідентифікація нових значень параметрів ЛДМ може бути виконана одним із відомих методів параметричної ідентифікації, при цьому елементи матриці сталих часу $\mathbf{T}$ можуть бути визначені внаслідок аналізу перехідних процесів, а елементи матриць $\mathbf{K}$, $\mathbf{K}_1$, $\mathbf{K}_2$ – внаслідок аналізу як перехідних, так і усталених режимів. Після ідентифікації нових значень параметрів ЛДМ об’єкта матриця передаточних функцій системи ортогонального проектування також адаптується до нового технічного стану об’єкта, внаслідок чого виконання тотожності $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)\equiv 0$ поновиться і буде виконуватися до деякого моменту $t_2 > t_1$, у який будемо мати $\mathbf{y}_0^{\perp}(t_2)\neq 0$. В момент часу t_2 процедура адаптації системи сигнального діагностування до нового технічного стану енергетичного об’єкта повторюється. Таким чином, синтезована система динамічного контролю параметрів ЛДМ енергетичного об'єкта адаптується до його поточного технічного стану і «старіє» синхронно з ним. Параметри ЛДМ, що визначаються підчас ідентифікації в моменти часу $t_1, t_2, ..., t_n$, 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, а це дає змогу перейти до стратегії технічного обслуговування за станом з контролем параметрів.

Проілюструємо одержані теоретичні результати на прикладі силової газотурбінної установки (одновального турбореактивного двигуна (ТРД)). ЛДМ для одновального ТРД наведена в [5] та має вигляд

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

де x_{G_T} – 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

$$\mathbf{u}(t) = x_{G_T}(t), \quad \mathbf{y}_0(t) = \left(y_1(t), y_2(t), y_3(t)\right)^T = \left(x_n(t), x_{T_3}(t), x_{T_4}(t)\right)^T \quad –$$

скоригований вектор спостережуваних параметрів.

Тоді, відповідно до співвідношення (10)

$$\mathbf{W}(p) = \begin{pmatrix} w_1(p) \\ w_2(p) \\ w_3(p) \end{pmatrix} = \mathbf{K}_1(\mathbf{T}p+\mathbf{E})^{-1}\mathbf{K} + \mathbf{K}_2, \ \mathbf{K}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ -0.889 \\ -1.580 \end{pmatrix}, \ \mathbf{K}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.666 \\ 0.586 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{K} = (0.333), \ \mathbf{T} = (0.5).$$

Відповідно до співвідношення (8) матриця передаточних функцій системи ортогонального проектування $\mathbf{H}(p)$ має вигляд

$$\mathbf{H}(p) =$$

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

Подальше моделювання будемо виконувати в програмному середовищі MATLAB.

Припустимо, що на виході обчислювача спостерігається вектор $\mathbf{y}_0(t) = \left(y_{01}(t), y_{02}(t), y_{03}(t)\right)^T$.

На рис.2. наведено три варіанти графіків координат скоригованого вектора спостережуваних параметрів $\mathbf{y}_0(t)$.

На виході системи ортогонального проектування спостерігаємо вектор $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$, відповідні графіки координат якого наведено на рис. 3.

На рис.3 (варіант *a*), кожна координата вектора $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$ відхиляється від нульового значення не більше ніж на $\varepsilon = 6\times10^{-4}$, що знаходиться в межах прийнятої похибки обчислень $\delta = 10^{-3}$, тому, в цьому випадку, слід вважати $\mathbf{y}_0^{\perp}(t) \equiv 0$, тобто не має підстав вважати, що параметри ЛДМ не відповідають поточному технічному стану ТРД.

Максимальне відхилення першої координати вектора $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$ на рис.3 (варіант *b*) дорівнює $\varepsilon = 8\times10^{-2}$, що суттєво перевищує прийняту похибку обчислень $\delta = 10^{-3}$, тому відхилення координат вектора $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$ від нуля є наслідком того, що деякі параметри ЛДМ не відповідають поточному технічному стану ТРД.

Враховуючи те, що по закінченню перехідного процесу $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$ 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 $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$ на рис.3 (варіант *c*) дорівнює $\varepsilon = 16.5\times10^{-2}$, що також суттєво перевищує прийняту похибку обчислень $\delta = 10^{-3}$, тому це відхилення є також наслідком невідповідності деяких параметрів ЛДМ поточному технічному стану ТРД.

При цьому по закінченню перехідних процесів встановлюються сталі ненульові значення координат вектора $\mathbf{y}_0^{\perp}(t)$, 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 [4], визначаємо що корекції підлягає другий елемент матриці $\mathbf{K}_2$.

По результатам ідентифікації маємо нове значення $k_{22} = 0.696$ (попереднє значення $k_{22} = 0.666$).

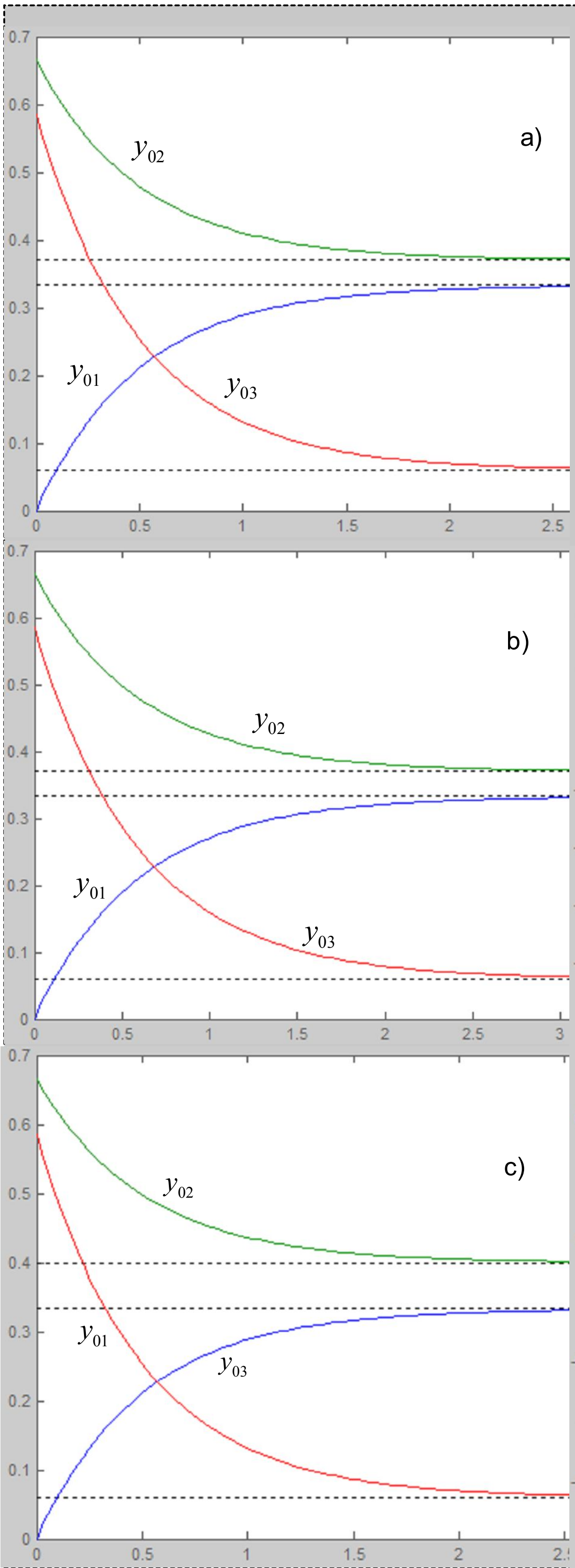

Рис. 2. Варіанти вектора спостереження

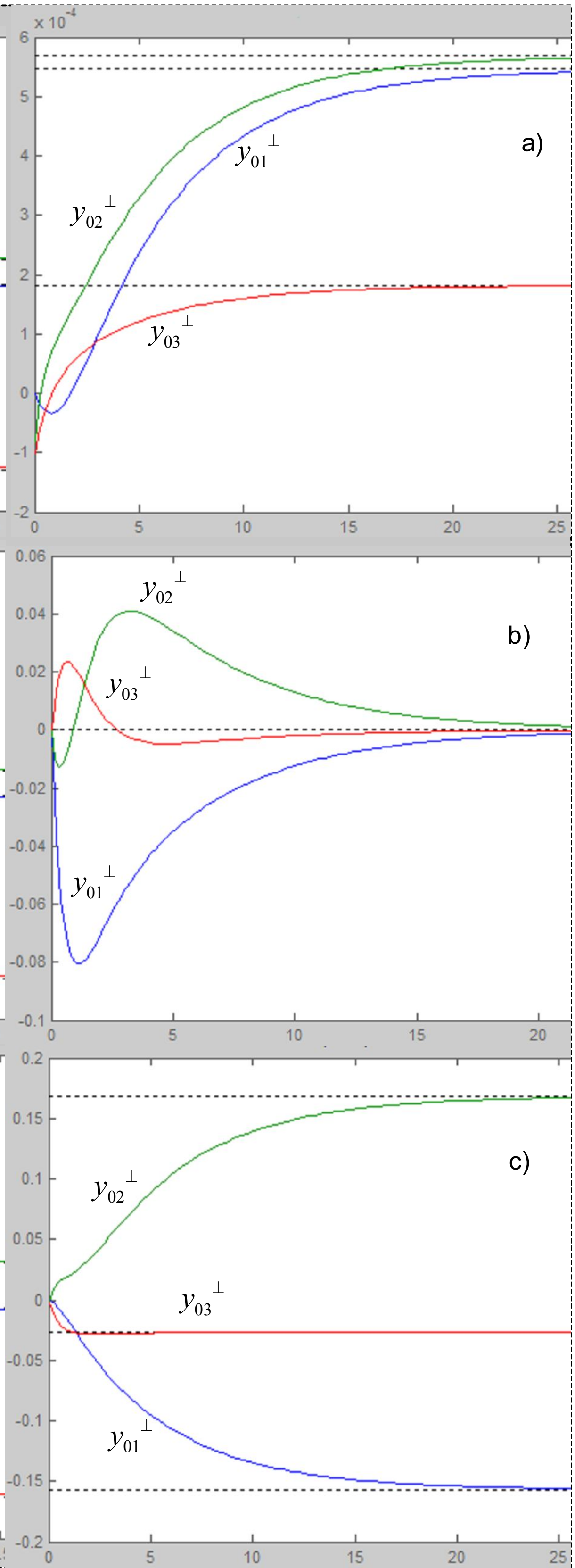

Рис. 3. Варіанти результатів обробки вектора спостереження

Висновки.

1. Синтезована система динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан енергетичного об’єкта, яка є системою сигнального діагностування. Ця система працює в реальному часі і є головним елементом системи автоматизованого керування технічним станом енергетичного об’єкту.

2. Використання в якості характеристики поточного технічного стану об'єкта сукупності параметрів його лінійної динамічної моделі обґрунтовано для широкого класу енергетичних об'єктів, система керування яких працює в режимі стабілізації.

3. 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.

4. Відмінною особливістю запропонованого підходу 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.

Використані джерела інформації:

1. *Лобода И.И., Горячий А.А.* Диагностический анализ отклонений контролируемых параметров ГТУ от нормы // Вестник двигателестроения № 2/2005 С. 161-168.
2. *Асланян А.Е., Бєльська О.А.* Забезпечення практичної безвідмовності функціонування газотурбінного двигуна при його експлуатації за технічним станом / Збірник наукових праць ДНДІ авіації. − К.:ДНДІ авіації, 2008. – Вип. . – С.
3. *Треногин В.А.* Функциональный анализ.− М.: Наука, 1980. − 495 с.
4. *Бельская А.А.* Локализация неисправностей в линейных системах большой размерности при отсутствии информации о входном сигнале// Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2006». – К.: НАУ, 2006, –Т. ІІ. –С. 3.1–3.4
5. *Шевяков А. А.* Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. − М.: Машиностроение, 1970. − 548с.

Рецензент: д.т.н. Лисенко О.І.