

АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КУТОМ ТАНГАЖУ ЛІТАЛЬНИХ ОБ’ЄКТІВ

Вступ

У багатьох випадках динамічні та статичні властивості системи керування можуть змінюватися у часі, змінюються зовнішні завади, які діють на об’єкт керування. У цих випадках регулятори з жорсткими (незмінними) параметрами не можуть забезпечити потрібні режими роботи. Отже, необхідно змінювати налаштування керуючих пристроїв, параметри деяких елементів системи, вводити у систему канали компенсації, тобто переходити до самонастроювальних (адаптивних) систем керування. Серед адаптивних систем керування широке застосування знайшли системи, в яких якість перехідних процесів закладається в динаміку еталонної моделі, яка представляється в аналоговій або цифровій формі у вигляді математичної моделі. В системах з еталонною моделлю шляхом порівняння вимірювального та заданого показників якості формуються додаткові сигнали, які забезпечують задані показники якості. Такий метод формування закону керування зветься сигнальною настройкою.

Розглянемо типову блок-схеми адаптивної системи з еталонною моделлю та додатковим сигналом керування (рис. 1). Пристрій керування $ПК_2$ на основі інформації про розбіжність векторів X_M стану моделі та $X(t)$ самої системи виробляє вектор додаткового керування $m(t)$, який впливає на основний пристрій керування $ПК_1$.

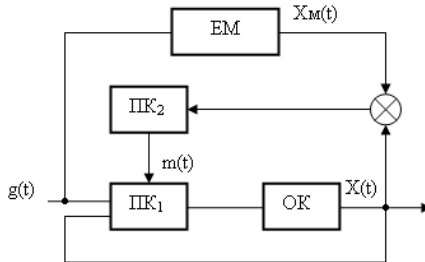


Рис. 1 – Типова адаптивна система з еталонною моделлю.

При параметричних методах адаптації синтез законів керування як правило дає нелінійні закони зміни параметрів $ПК_1$, що значно ускладнює задачу їх реалізації. При сигнальних методах реалізацію вектора додаткового керування в реальних умовах можна виконати тільки за допомогою самого $ПК_1$ в прямому каналі керування, що обмежує можливість впливати безпосередньо на всі змінні стану об’єкта керування.

Постановка задачі

Значна частина теорії побудови систем керування базується на використанні зворотних зв'язків по змінним стану. Однак, на практиці не всі змінні стану доступні до вимірювання, і, як правило, вимірюються тільки вихідні змінні об'єкта керування. В [1, 2, 3, 4] показано, що якщо керований процес є спостережливим, то можна побудувати пристрій спостереження, який на основі інформації про вхідні та вихідні сигнали відновлює оцінки змінних стану, на основі яких формуються сигнали зворотних зв'язків для керування процесом. Для цих методів характерно те, що структура регулятора обирається апіорі на основі інформації про об'єкт керування. Класичний спостерігач стану, поданий на рис. 1, повинен будуватися таким чином, щоб відновлений стан $Y_c(t)$ був як можна ближче до дійсного стану $Y(t)$. При цьому вважається що структура пристрою, що спостерігає ідентична по відношенню до дійсної системи керування, що значно обмежує можливі області використання таких методів синтезу при дії на об'єкт керування неконтрольованих зовнішніх збурень та у разі неконтрольованих змін параметрів самого об'єкта керування. В роботах [5, 6, 7] була показана можливість застосування спостерігача для керування такими об'єктами. На основі вимірювання вихідних координат системи керування та пристрою, що спостерігає, здобувається інформація про відхилення вихідних координат об'єкта керування від координат спостерігача $\Delta Y(t) = Y(t) - Y_c(t)$. Але задача спостерігача буде полягати не в оцінці координат змінних стану $X_c(t)$, а в тому, щоб привести вихідні координати $Y(t)$ об'єкта керування до координат $Y_c(t)$, які будемо вважати заданими. Для розв'язання такої задачі необхідно до керуючого впливу $U(t)$ додавати компенсуючи керування $\Delta U_k(t) = F(\Delta Y(t))$ (рис. 2). Отже, тепер задачею спостерігача стає задача стеження за відхиленням дійсного процесу від заданого та виробки вектору додаткового керування, який подається на об'єкт керування.

В цьому разі спостерігач діє як еталонна модель, тобто стає деяким керуючим пристроєм, який приводить вихідні координати об'єкта керування до заданих. Такий керуючий спостерігач будемо називати дуальним [7]. В [6] показано, що при $Lk = Wk(s) \gg 1$ еквівалентна передаточна функція всієї системи керування буде визначатися передаточною функцією дуального спостерігача. При виконанні цієї умови система керування стає інваріантною до впливу зовнішніх збурень, а динамічні властивості (перехідні процеси) наближаються до процесів, які визначаються дуальним спостерігачем.

Припустимо, що динаміка основного контура системи керування описується системою лінійних диференційних рівнянь із змінними параметрами вигляду $\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)g(t) + m(t) + B_v(t)v(t)$, а задана динаміка визначається дуальним спостерігачем, тобто $\dot{x}_m(t) = Ax(t) + Bg(t)$, де матриці A та B є сталими і відповідають одному із заданих режимів роботи.

Вектор розбіжності змінних стану дуального спостерігача та системи

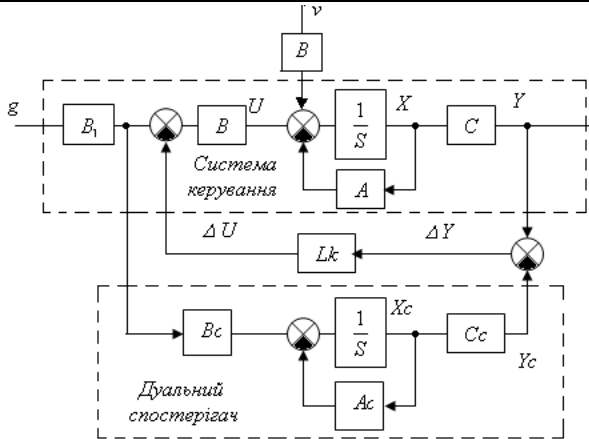


Рис. 2 – Система керування з дуальним спостерігачем

$\varepsilon(t) = x_m(t) - x(t)$, або $\Delta y(t) = Cx_m(t) - C(t)x(t)$. Тоді, при відсутності зовнішнього впливу $v(t) = 0$, можна записати $\dot{\varepsilon}(t) = A(t)\varepsilon(t) - \Delta Ax(t) - \Delta Dg(t) - m(t)$, де $\Delta A = A(t) - A$, $\Delta B = B(t) - B$. Отже треба знайти такий вектор керування $m(t)$, щоб можна було забезпечити асимптотичне збігання в цілому системи з дуальним спостерігачем. При використанні прямого методу Ляпунова функцію Ляпунова слід обирати у вигляді додатньо-визначеної квадратичної форми $V = \varepsilon^T P \varepsilon$. При цьому похідна функції Ляпунова $\dot{V} = -\varepsilon^T Q \varepsilon - 2\gamma$, де $Q = A^T P + P A$, $\gamma = \varepsilon^T P (\Delta Ax + \Delta Dg + m)$ буде від’ємно-визначеною, якщо матриця $Q > 0$ та $\gamma \geq 0$.

В реальних системах сформувавши n -мірний вектор не представляється можливим, тому що подавати додатковий сигнал керування на внутрішні змінні стану об’єкта керування практично неможливо.

Розглянемо типову систему керування кута тангажу на прикладі літака F-101, яку представлено на рис. 3.

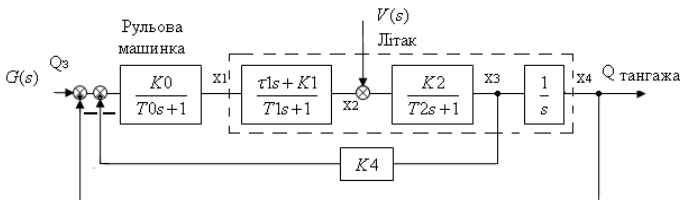


Рис. 3 – Система керування кута тангажу

Параметри системи керування

$K0 := 8$ $T0 := 0.2$ $T1 := 0.318$ $T2 := 0.284$

$\tau1 := 2.25$ $K1 := 2$ $K2 := 0.608$

Для теоретичних розрахунків була застосована векторно – матрична модель (для розрахунків використовується програма MathCAD 13):

$$A0 := \begin{bmatrix} \frac{-1}{T0} & 0 & 0 & \frac{-K0}{T0} \\ \frac{\tau1}{T1} \left(\frac{K1}{\tau1} - \frac{1}{T1} \right) & \frac{-1}{T1} & \left[\frac{\tau1}{T1} \left(\frac{K1}{\tau1} - \frac{1}{T1} \right) \right] & 0 \\ \frac{\tau1}{T1} \frac{K2}{T2} & \frac{K2}{T2} & \frac{-1}{T2} - \frac{\tau1}{T1} \frac{K2}{T2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B0 := \begin{bmatrix} \frac{K0}{T0} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{K2}{T2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C0 := (0 \ 0 \ 0 \ 1) \quad I0 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C01 := (1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$W0(s) := C0 \cdot (s \cdot I0 - A0)^{-1} \cdot B0 \quad \left| \begin{array}{l} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\left[40.00 \cdot \frac{13.46 + 15.15 \cdot s}{s^4 + 26.81 \cdot s^3 + 201.9 \cdot s^2 + 1070 \cdot s + 538.6} \quad 2.141 \cdot (s + 3.145) \cdot \frac{s + 5.}{s^4 + 26.81 \cdot s^3 + 201.9 \cdot s^2 + 1070 \cdot s + 538.6} \right]$$

$$W01(s) := C01 \cdot (s \cdot I0 - A0)^{-1} \cdot B0 \quad \left| \begin{array}{l} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\left[40.00 \cdot s \cdot \frac{s^2 + 21.81 \cdot s + 92.88}{s^4 + 26.81 \cdot s^3 + 201.9 \cdot s^2 + 1070 \cdot s + 538.6} \quad (-2.141) \cdot \frac{40 \cdot s + 125.8}{s^4 + 26.81 \cdot s^3 + 201.9 \cdot s^2 + 1070 \cdot s + 538.6} \right]$$

$$z(s) := W0(s) \cdot g(s)$$

$$z(t) := z(s) \quad \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow 1.0 - .11 \cdot e^{(-19) \cdot t} - .47 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \cos(6.1 \cdot t) - .66 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \sin(6.1 \cdot t) +$$

$$z1(s) := W01(s) \cdot g(s)$$

$$z1(t) := z1(s) \quad \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow (-.32) \cdot e^{(-19) \cdot t} - 3.4 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \cos(6.1 \cdot t) + 3.9 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \sin(6.1 \cdot t)$$

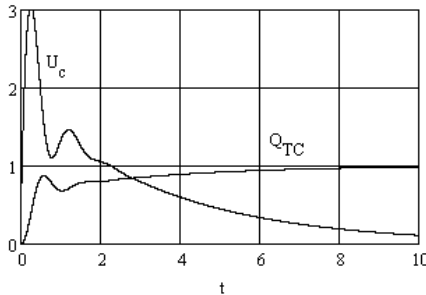


Рис. 4 – Перехідні процеси в системі керування кутом тангажу

Аналіз графіків показує, що для забезпечення потрібної динаміки не-

обхідно застосовувати значні керуючі впливи U_C . Крім того при зміні режимів роботи (наприклад, зміна висоти польоту) параметри об'єкту керування можуть змінюватися, що створює необхідність застосовувати параметричні методи адаптації параметрів пристрою керування ППК₁. При цьому значно ускладнюється система керування. Дія на систему неконтрольованих збуджень $V(t)$ також призводить до необхідності застосування складних законів керування.

В [5,6,7] показана можливість застосування керуючого спостерігача (дуального спостерігача) у якості пристрою, який забезпечує потрібну динаміку перехідних процесів, компенсацію неконтрольованих збуджень та зміну параметрів об'єкта керування. Включення такого дуального спостерігача показано на рис.5. Приведені необхідні аналітичні порівняльні розрахунки на основі застосування векторно – матричних методів.

Параметри системи керування

$$K0 := 6 \quad T0 := 0.2 \quad \tau1 := 2.25 \quad K1 := 2 \quad T1 := 0.318$$

$$K2 := 0.608 \quad T2 := 0.284 \quad K4 := 10 \quad K5 := 10$$

$$g1(t) := 1 \quad g1(s) := g1(t) \text{ laplace, } t \rightarrow \frac{1}{s} \quad g2(t) := 0 \quad g2(s) := g2(t) \text{ laplace, } t \rightarrow 0$$

Параметри дуального спостерігача, який задає бажану якість перехідних процесів: $K3 := 0.5 \quad T3 := 1$

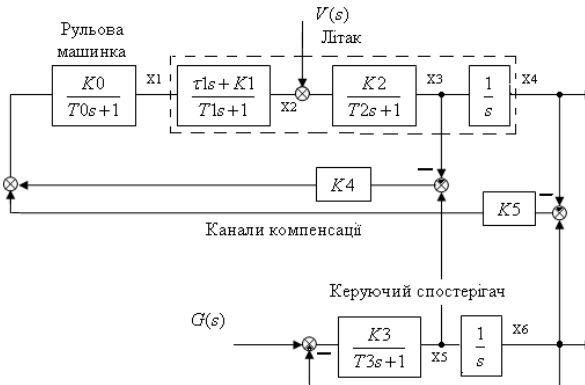


Рис. 5 – Система керування із дуальним спостерігачем

Векторно – матрична модель системи керування

$$A := \begin{bmatrix} \frac{-1}{T0} & 0 & \frac{-K0 \cdot K4}{T0} & \frac{K0 \cdot K5}{T0} & \frac{K0 \cdot K4}{T0} & \frac{K0 \cdot K5}{T0} \\ \frac{\tau1}{T1} \cdot \left(\frac{K1}{\tau1} - \frac{1}{T1} \right) & \frac{-1}{T1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\tau1 \cdot K2}{T1 \cdot T2} & \frac{K2}{T2} & \frac{-1}{T2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{T3} & \frac{-K3}{T3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad g(s) := \begin{pmatrix} g1(s) \\ g2(s) \end{pmatrix}$$

$$B := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K3}{T3} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} C1 := (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0) \\ C2 := (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1) \\ C3 := (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{matrix} \quad B1 := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{K2}{T2} \\ 0 & 0 \\ \frac{K3}{T3} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad I := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Розрахунок передаточних функцій

$$W1(s) := C1 \cdot (s \cdot I - A)^{-1} \cdot B1 \begin{matrix} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{matrix} \rightarrow$$

$$\left[\frac{5 \cdot \frac{8584 \cdot s + 4039 + 4544 \cdot s^2}{s^6 + 12.67 \cdot s^5 + 4601 \cdot s^4 + .1323e5 \cdot s^3 + .1497e5 \cdot s^2 - 8359 \cdot s + 2020}}{2.141 \cdot (s^2 + s + .5000) \cdot (s + 3.145) \cdot \frac{s + 5}{s^6 + 12.67 \cdot s^5 + 4601 \cdot s^4 + .1323e5 \cdot s^3 + .1497e5 \cdot s^2 + 8359 \cdot s + 2020}} \right]$$

$$W2(s) := C2 \cdot (s \cdot I - A)^{-1} \cdot B1 \begin{matrix} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{matrix} \rightarrow$$

$$\left(\frac{5 \cdot \frac{s^4 + 11.67 \cdot s^3 + 4589 \cdot s^2 + 8639 \cdot s + 4039}{s^6 + 12.67 \cdot s^5 + 4601 \cdot s^4 + .1323e5 \cdot s^3 + .1497e5 \cdot s^2 + 8359 \cdot s + 2020}}{0} \right)$$

$$\left(\frac{5 \cdot \frac{s^4 + 11.67 \cdot s^3 + 4589 \cdot s^2 + 8639 \cdot s + 4039}{s^6 + 12.67 \cdot s^5 + 4601 \cdot s^4 + .1323e5 \cdot s^3 + .1497e5 \cdot s^2 + 8359 \cdot s + 2020}}{0} \right)$$

$$W3(s) := C3 \cdot (s \cdot I - A)^{-1} \cdot B1 \begin{matrix} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{matrix} \rightarrow$$

$$\left[\frac{5 \cdot (300 \cdot s + 300) \cdot (s + 3.145) \cdot (s + 3.521) \cdot \frac{s}{s^6 + 12.67 \cdot s^5 + 4601 \cdot s^4 + .1323e5 \cdot s^3 + .1497e5 \cdot s^2 + 8359 \cdot s + 2020}}{(-2.141) \cdot (300 \cdot s^3 + 600 \cdot s^2 + 450 \cdot s + 150) \cdot \frac{s + 3.145}{s^6 + 12.67 \cdot s^5 + 4601 \cdot s^4 + .1323e5 \cdot s^3 + .1497e5 \cdot s^2 + 8359 \cdot s + 2020}} \right]$$

Розрахунок перехідних процесів

$$Y(s) := W2(s) \cdot g(s)$$

$$y(t) := Y(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow 1.0 + .37e^{-3} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \cos(67 \cdot t) + .20e^{-3} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \sin(67 \cdot t)$$

$$Yo(s) := W1(s) \cdot g(s)$$

$$yo(t) := Yo(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow 1.0 + .11e^{-3} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \cos(67 \cdot t) + .22e^{-4} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \sin(67 \cdot t)$$

$$Y3(s) := W3(s) \cdot g(s)$$

$$y3(t) := Y3(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow (-.32e^{-1}) \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \cos(67 \cdot t) - .47e^{-2} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \sin(67 \cdot t)$$

$t := 0.001, 0.0011 \dots 10 \quad q := 0.2, 0.4 \dots 10$

$$y0(q) := Yo(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow 1.0 + .11e^{-3} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \cos(67 \cdot t) + .22e^{-4} \cdot e^{(-4.9) \cdot t} \cdot \sin(67 \cdot t)$$

Для порівняння розраховуються перехідні процеси типової системи керування при заданих параметрах:

$$K0 := 8 \quad T0 := 0.2 \quad T1 := 0.318 \quad T2 := 0.284$$

$$\tau1 := 2.25 \quad K1 := 2 \quad K2 := 0.608$$

$$A0 := \begin{bmatrix} -\frac{1}{T0} & 0 & 0 & -\frac{K0}{T0} \\ \tau1 \cdot \left(\frac{K1}{\tau1} - \frac{1}{T1} \right) & -\frac{1}{T1} & \left[\tau1 \cdot \left(\frac{K1}{\tau1} - \frac{1}{T1} \right) \right] & 0 \\ \frac{\tau1}{T1} \cdot \frac{K2}{T2} & \frac{K2}{T2} & -\frac{1}{T2} - \frac{\tau1}{T1} \cdot \frac{K2}{T2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B0 := \begin{bmatrix} \frac{K0}{T0} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{K2}{T2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C0 := (0 \ 0 \ 0 \ 1)$$

$$C01 := (1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$I0 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W0(s) := C0 \cdot (s \cdot I0 - A0)^{-1} \cdot B0 \left| \begin{array}{l} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$W01(s) := C01 \cdot (s \cdot I0 - A0)^{-1} \cdot B0 \left| \begin{array}{l} \text{collect, s} \\ \text{float, 4} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$z(s) := W0(s) \cdot g(s)$$

$$z(t) := z(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow 1.0 - .11 \cdot e^{(-1.9) \cdot t} - .47 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \cos(6.1 \cdot t) - .66 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \sin(6.1 \cdot t)$$

$$z1(s) := W01(s) \cdot g(s)$$

$$z1(t) := z1(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow (-.32) \cdot e^{(-1.9) \cdot t} - 3.4 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \cos(6.1 \cdot t) + 3.9 \cdot e^{(-3.6) \cdot t} \cdot \sin(6.1 \cdot t)$$

Результати аналітичних розрахунків представлені на рис. 6

Аналіз аналітичних розрахунків показує, що запропонований метод побудови системи керування із заданими показниками якості повністю

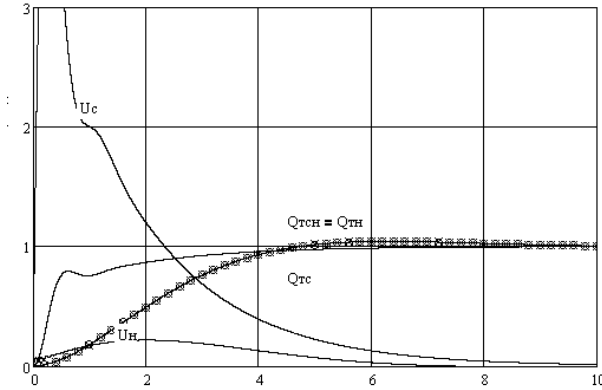


Рис. 6 – Результати аналітичних розрахунків

задовольняє умовам поставленої задачі. Також були виконані розрахунки перехідних процесів при дії на систему керування та типову систему неконтрольованого збудження типу регулярної „бовтанки”

$$V(t) = 1 \sin(5 \cdot t) \quad V(s) := V(t) \text{ laplace, } t \rightarrow \frac{5}{s^2 + 25}$$

Результати аналітичних розрахунків (рис. 7) показують, що типова система керування у перехідних процесах не компенсує такі завади (див. криву $Q_{ТС}$), тоді як запропонована система практично не реагує на збуджуючий вплив ($Q_{ТСН} = Q_{ТН}$), при цьому показники якості систем з дуальним спостерегачем залишаються стабільними.

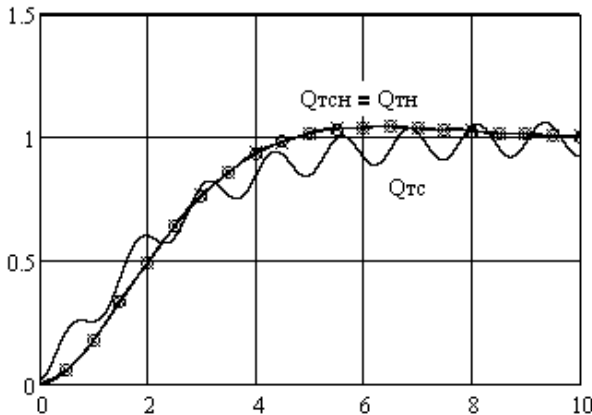


Рис. 7 – Вплив регулярної завади

Більш детальні дослідження запропонованого методу побудови адаптивної системи з дуальним спостерегачем в системі керування ку-

том тангажу проводилися на універсальному лабораторному комплексі „SHS-TAK”, розробленому на кафедрі Технічної кібернетики Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут”. Схему набору моделі системи керування з дуальним спостерігачем представлено на рис. 8.

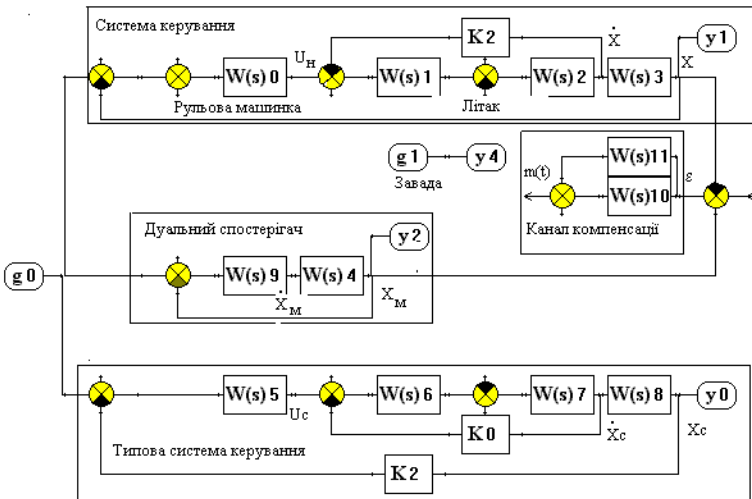


Рис. 8 – Схема моделі системи керування з дуальним спостерігачем

Аналіз результатів: 1) На рис. 9 представлені перехідні процеси при виключеному каналі компенсації; перехідні процеси типової системи керування та системи, що розглядається, співпадають ($X = X_c$); експериментальні дані співпадають з аналітичними; 2) На рис. 10 приведені перехідні процеси при включеному каналі компенсації, перехідний процес $X(t)$ задається дуальним спостерігачем ($X = X_M$); 3) На рис. 11, 12 даються результати дії на систему керування детермінованої завади $V \cdot 1(t)$ при виключеному та включеному каналу компенсації відповідно. Завада подавалася із затримкою у 5 сек. відносно моменту прикладання задавального впливу $g(t)$. При цьому в типовій системі керування спостерігаються значні відхилення, тоді як у запропонованій присутня повна компенсація таких впливів ($X = X_M$);

4) На рис.13 показані результати дослідження дії випадкової завади, яка впливає на внутрішні змінні стану об'єкту керування (літака), з яких можна зробити висновок – система з дуальним спостерігачем компенсує неконтрольовані зовнішні збудження.

Для підвищення швидкості збігання процесів адаптації слід підвищувати коефіцієнт передачі каналу компенсації, а для стійкості – включити в канал компенсації диференціюючу складову $W(s)10 = \frac{5s+30}{0.01s+1}$.



Рис. 9 – Перехідні процеси при вимкненому каналі компенсації

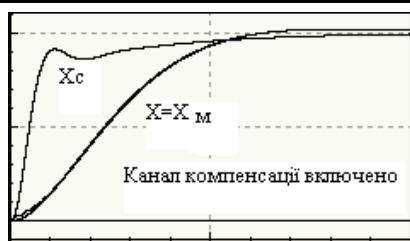


Рис. 10 – Перехідні процеси при вкљученому каналі компенсації



Рис. 11 – Результат дії детермінованої завади при вимкненому каналі компенсації

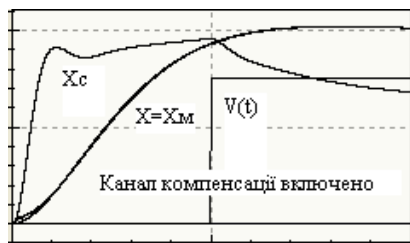


Рис. 12 – Результат дії детермінованої завади при вкљученому каналі компенсації



Рис. 13 – Результати дії випадкової завади

Для надання системі керування властивостей робастості в канал компенсації необхідно додавати інтегральну складову $W(s)_{11} = \frac{0s+50}{1s+0}$. Таким чином канал компенсації набуває властивостей ПІД-регулятора. Оскільки в адаптивній системі з еталонною моделлю при значних коефіцієнтах передачі каналу компенсації загальна передаточна функція всієї системи керування практично дорівнює передаточній функції еталонної моделі (дуального спостерігача) [6], досліджувалась можливість спрощення реалізації адаптивної системи: основний канал рулюва ма-

шинка – літак розглядався як розімкнутий (головний зворотний зв’язок виключено); задавальний вплив $g(t)$ подавався тільки на дуальний спостерігач (рис. 14).

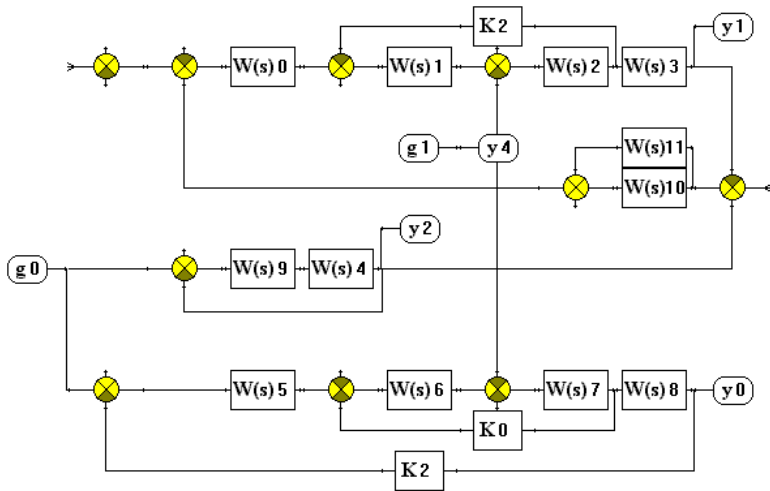


Рис. 14 – Спрощена система керування кута тангажа

Результати дослідження (рис. 15) показали повну працездатність системи керування з розімкнутим прямим каналом передачі задавального впливу. Динамічні властивості системи керування не змінюються.



Рис. 15 – Перехідні процеси в спрощеній системі керування

Висновки

Теоретичні та експериментальні дослідження побудови різноманітних автоматичних систем керування з дуальним спостерігачем показали високу ефективність запропонованих методів при значному спрощенні їх фізичної реалізації. При цьому знімається проблема корекції параметрів як об’єкта керування так і регулятора, а сама система керування набуває властивостей грубості (робастості) навіть при значних

змінах параметрів системи та впливу неконтрольованих завад у широкому діапазоні.

Запропонований спосіб побудови систем керування може бути використаний у випадках, коли математична модель системи побудована, але створення натурної моделі для експериментів неможливе або пов'язано із значними фінансовими витратами.

Література

1. 1. Тютюнник А.Г. Оптимальні і адаптивні системи автоматичного керування: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 1998. -512с.
2. 2. Летов А.М. Динамика полета и управление, М., “ Наука”.1969. 360с.
3. 3. Топчеев Ю. И., Потемкин В. Г., Иваненко В. Г. Системы стабилизации. М., “Машиностроение”, 1974. 248с.
4. 4. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. М., “Машиностроение”. 1978. 736с.
5. 5. Шпіт С.В., Янцеловський С.Г., Ткаченко О.І. Системи автоматичного керування з еталоном – спостерігачем // Адаптивні системи автоматичного управління. -2008- 12(32).- с. 145 – 151.
6. 6. Шпіт С.В., Семчишин А.В. Автономна багатомірна система керування з еталонами – спостерігачами // Адаптивні системи автоматичного управління. -2009 - 13(33).- с. .
7. 7. Шпіт С.В. Дуальний спостерігач в системах автоматичного керування // Адаптивні системи автоматичного управління. -2009 - 14(34).- с. .

Отримано 06.03.2010 р.