

## БАГАТОМІРНА АДАПТИВНА КВАЗІОПТИМАЛЬНА СИСТЕМА

*Анотація:* В даній роботі розглянуто застосування спостерегаючого пристрою у багатовимірній адаптивній квазіоптимальній системі кута крену, тангажу та напрямку літака, що дозволяє значно спростити структурну схему стабілізації керування літаком, зробити керування більш стійким до зовнішніх неконтрольованих впливів та змін параметрів системи.

*Ключові слова:* дуальний спостерігач, багатовимірна система, система керування, об'єкт керування, тангажу, крен, напрямок, літак, квазіоптимальна система, автономність.

### Вступ

Відомо, що в багатовимірних системах автоматичного керування однією з найважливіших проблем є проблема автономності, яка складається з вибору такої структури та параметрів системи керування, при яких зміни в одному  $i$ -му каналі керування не визивають зміни вихідних сигналів у  $j$ -их каналах об'єкту керування, тобто системи керування по кожній керованій величині можуть розглядатися незалежно одна від одної. Другою важливою проблемою є проблема компенсації впливу зовнішніх збуджень, які діють на систему керування задачею, тобто проблема побудови таких систем керування, вихідні сигнали яких не змінюються при дії на систему керування неконтрольованих впливів.

Відомі найбільш важливі канонічні структури, які використовуються для опису багатовимірних об'єктів відносно входу-виходу [1], для яких число входів дорівнює числу виходів (рис. 1). У випадку  $P$ -канонічної структури кожний  $i$ -ий вхід діє на всі  $j$ -и виходи:

$$\begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{21}(s) \\ W_{12}(s) & W_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \end{bmatrix}$$

або  $Y(s) = W(s)U(s)$ , де матриця  $W(s)$  є квадратичною. Слід зауважити, що у випадку нечіткої математичної моделі частини об'єкту застосовувати поняття передаточної функції слід дуже обережно.

Особливість  $V$ -канонічної структури полягає в тому, що кожний  $i$ -ий вхід діє тільки на відповідний  $i$ -ий вихід, а кожний вихід впливає на  $j$ -и входи.

$$\begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & 0 \\ 0 & W_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & W_{21}(s) \\ W_{12}(s) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \end{bmatrix}$$

або  $Y(s) = W_r(s)\{U(s) + W_c(s)Y(s)\}$

Відомо, що для поставленої задачі побудови автономної багатовимірної системи застосовуються класичні методи, які основані на роботах

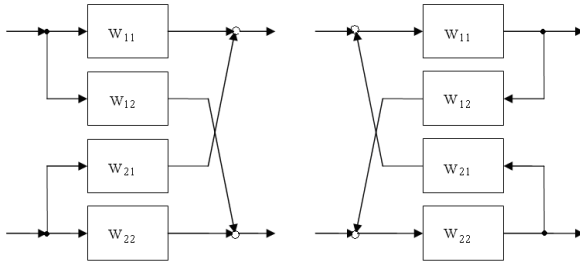


Рис. 1 – Канонічні структури багатовимірних об’єктів на прикладі дво-вимірних об’єктів: а) P-канонічна структура; б) V-канонічна структура.

В.С. Кульбакіна, Б.Н. Петрова, А.І. Кухтенко, Г.В. Щипанова, В.М. Меєрова [2]. Розв’язання цієї задачі полягає у спеціальному виборі корегуючих ланок  $R_{ij}$ .

Однак для фізичної реалізації необхідно, щоб відповідні змінні стану системи керування були контрольованими. У разі неконтрольованих змінних стану задача ускладнюється.

Тому для досягнення поставленої цілі застосуємо дуальний спостерігач [3], який включається паралельно відповідному  $i$ -головному зв’язку, а передаточна функція якого обирається виходячи із бажаних характеристик перехідних процесів. Дослідження такого методу побудови багатовимірної системи керування проводилися на спрощеній 3-х вимірній системі керування каналу тангажу, каналу курсу та каналу крену літака. (рис. 3).

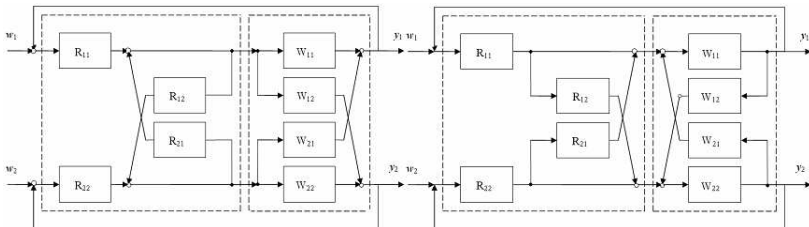


Рис. 2 – а) Розв’язка P-канонічного об’єкту за допомогою V-канонічних перехрестних регуляторів, розташованих після головних. б) Розв’язка V-канонічного об’єкту за допомогою P-канонічних перехрестних регуляторів, розташованих після головних.

### Постановка задачі

Головною задачею є проблема розв’язки каналів крену та направлення (курсу) та вплив на канал тангажу, тому що при появі крену з’являється ковзання, що приводить до зміни висоти польоту за рахунок взаємозв’язку каналу крену з каналом тангажу. При виконанні розвороту (зміні

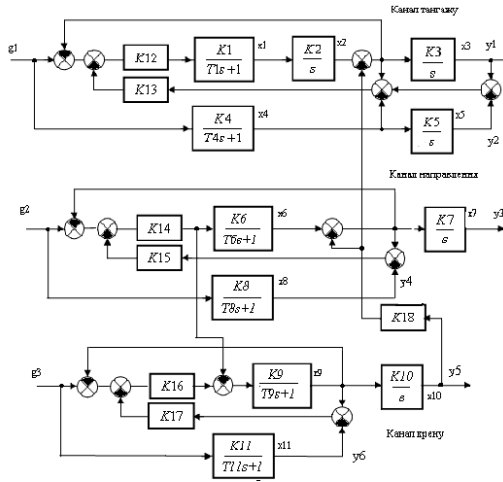


Рис. 3 – Трьохвимірний адаптивний інваріантний систем керування

курсу) ставиться задача координованого розвороту, тобто розвороту без ковзання і, відповідно, без зміни висоти польоту. Таким чином всі три канали керування літаком є взаємозв'язаними і зміна сигналів у одному каналі може вивизати не бажані зміни сигналів у інших каналах. Треба також враховувати вплив зовнішнього середовища такі як неконтрольований випадковий вплив турбулентних процесів на всі канали керування. Тому другою задачею дослідження запропонованого методу вирішення проблеми інваріантності вихідних сигналів відносно не контрольованої дії зовнішнього середовища. Також відомо, що при зміні умов польоту ( зміна висоти польоту, швидкості польоту, зміні центровки) змінюються параметри відповідних математичних моделей каналів керування, змінюється ефективність відхилень органів керування. Все це приводить до появи нечітких математичних моделей і, отже, до проблеми дослідження робастності.

Дослідження динамічних процесів проводилися із застосуванням методу опису у просторі стану, який має значні переваги у порівнянні із записом математичної моделі у вигляді передаточних функцій. Експериментальна частина досліджень виконувалась із застосуванням віртуального лабораторного комплексу “SHS-TAK”, розробленого на кафедрі Технічної кібернетики Національного технічного університеті КПІ.

Структурна схема каналу тангажу із дуальним спостерігачем представлена на рис.4, де  $v_1$  – сигнал відхилення керма пілота ( або відповідний сигнал автопілота),  $v_2$  – ив каналу крену ( ковзання),  $x_1$ – швидкість зміни кута тангажу,  $x_2$ – кут тангажу,  $y_1$ – висота польоту,  $x_4$ – еталонний кут (бажаний) тангажу на виході дуального спостерігача. Аналіз динамічних процесів показує, що кут тангажу змінюється по закону, який

задається дуальним спостерігачем ( $x_2(t) = x_4(t)$ )

Дослідження плану тангажу

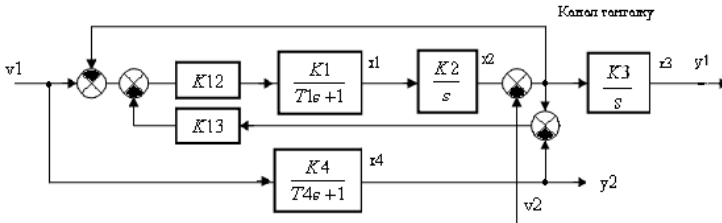


Рис. 4 – Структурна схема каналу тангажу

Матриці векторно-матричної моделі каналу тангажу мають вигляд

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & -h_1 \cdot K_{12} \cdot (1 + K_{13}) & 0 & h_1 \cdot K_{12} \cdot K_{13} \\ h_2 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & h_3 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 \end{bmatrix} \quad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} h_1 \cdot K_{12} & h_1 \cdot K_{12} \cdot K_{18} \cdot (1 + K_{13}) \\ 0 & 0 \\ 0 & -h_3 \cdot K_{18} \\ h_4 & 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$v_1(s) = \frac{0.5 \cdot (e^{-\tau_1 \cdot s} - e^{-\tau_3 \cdot s})}{s}$$

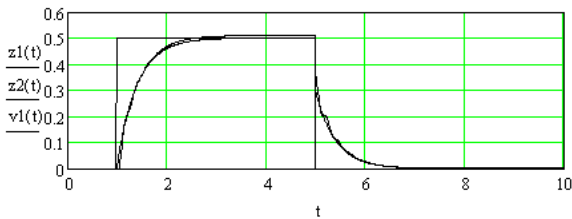


Рис. 5 – Динамічні процеси зміни кута тангажу при включеному дуальному спостерігачу каналу тангажу

Аналіз перехідних процесів на ступенчатий вплив в каналі тангажу (рис.5) показує повне співпадання вихідного сигналу об'єкта керування (кута відхилення керма висоти  $x_2$ ) із сигналом дуального спостерігача (еквівалентний куту тангажу  $x_4$ ) при редуцірованій моделі  $\frac{K_4}{T_4s+1}$  відносно замкнутої математичної моделі об'єкта керування  $\frac{K_{12} \cdot K_1 \cdot K_2}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot s + K_{12} \cdot K_1 \cdot K_2}$ . При використанні дуального спостерігача зміна параметрів об'єкта керування в 2-3 рази практично не впливає на якість перехідного процесу, що

задається як бажаний передаточною функцією моделі [4]. Отже, можна зробити висновок, що запропоноване використання дуального спостерігача надає системі властивості зобастості у “великому” та інваріантності відносно діючого впливу  $v_2$  зовнішнього середовища (в даному випадку каналу крену).

Дослідження повної багатозв'язаної системи керування по 3-м каналам (тангаж, курс, крен) приведено на рис. 6.

На основі аналізу процесів в системі керування, що досліджується при одночасній дії ступінчатих задаючих впливів  $g_3(t)$ ,  $g_2(t)$ ,  $g_1(t)$  встановлено, що включення дуальних спостерігачей у всі канали керування надає системі властивості автономності (всі канали розв'язані), властивості робастості та інваріантності до дії зовнішнього середовища.

Більш детальні дослідження при дії різноманітних впливів виконувалися на моделюючому комплексі “SHS-TAK”. На рис. 3 представлена схема набору 3-х вимірної системи керування адекватної математичної моделі, що розраховувалася засобами Mathcad 13. Перехідні процеси у відповідних каналах багатовимірної системи при послідовному включенні керуючих впливів  $g_3(t)$ ,  $g_2(t)$ ,  $g_1(t)$  та виключених дуальних спостерігачів каналу крену, каналу направлення(курсу) та каналу тангажу при початкових умовах  $x_{10}(0) = 0$ ,  $x_7(0) = 0$ ,  $x_1(0) = 1$  представлені на рис. 7а. Як видно, в системі за рахунок появи ковзання в каналі крену спостерігається взаємозв'язок між каналами керування ( зменшується висота польоту  $y_1(t)$  та змінюється направлення  $x_7(t)$  за рахунок появи не координованого розвороту), не підтримуються задані значення вихідних сигналів. Висновок – система керування не виконує свої функції. Далі виконувалось послідовне включення відповідних дуальних спостерігачів ДС.

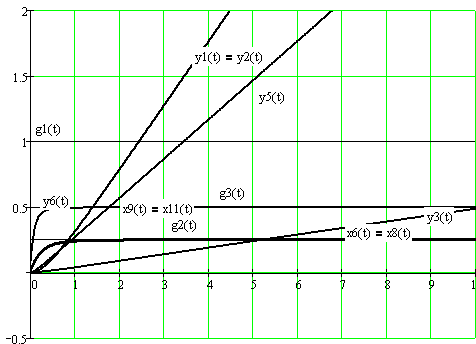


Рис. 6 – Динамічні процеси на виходах трьохвимірної адаптивної інваріантної системи керування ( $x_2(t) = x_4(t)$ ,  $y_1(t) = y_2(t)$ ,  $x_6(t) = x_8(t)$ ,  $x_9(t) = x_{11}(t)$ )

На основі дослідження перехідних процесів при включеному ДС каналу крену (рис. 7б) можна зробити висновок, що канал крену стає авто-

номним, його вихідний сигнал  $x7(t)$  стабілізується. Результат включення ДС каналу курсу дається та рис. 7в, з якого видно, що стабілізується значення кута відхилення керма направлення  $x10(t)$ . Після включення ДС каналу тангажу (рис. 7г) система повністю стабілізується.

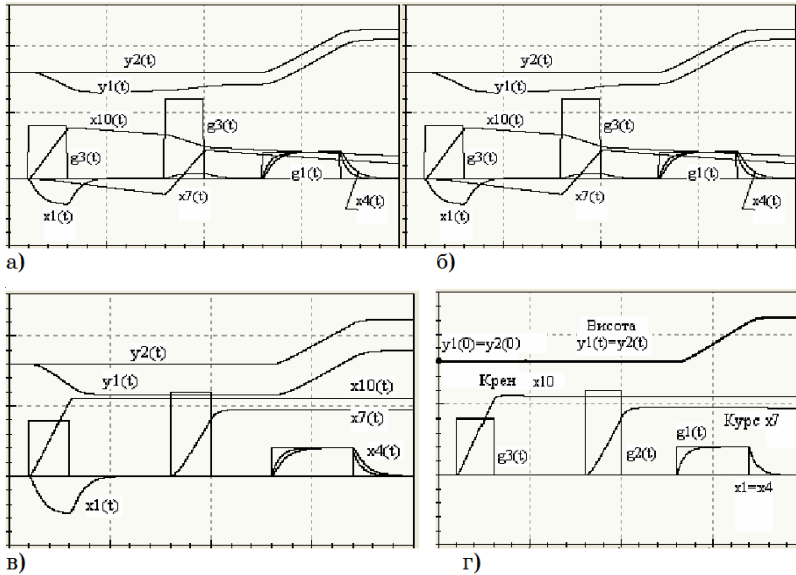


Рис. 7 – Послідовне включення ДС в канали керування: а) всі ДС вимкнуті, б) включено ДС каналу крену, в) включено ДС каналів крену та каналу курсу, г) всі ДС включені

При дії на систему неконтрольованого випадкового впливу зовнішнього середовища, коли всі ДС вимкнуті (рис. 8а), вихідний сигнал  $x7(t)$  каналу крену та значення кута відхилення керма направлення  $x10(t)$  сильно викривляються. При включенні ДС каналу крену (рис. 8б) бачимо, що кут відхилення керма направлення  $x10(t)$  стабілізується. При включенні ДС каналів крену та каналу курсу стабілізується і направлення  $x7(t)$ . Система повністю стабілізується при включенні ДС каналу тангажу (рис. 8г).

Отже, було розглянуто застосування спостерігаючого пристрою у багатовимірній адаптивній квазіоптимальній системі кута крену, тангажу та напрямку літака, і була вирішена проблема автономності шляхом вибору необхідних структури та параметрів системи керування. Також була вирішена проблема компенсації впливу зовнішніх збуджень, які діють на систему керування, тобто проблема побудови таких систем керування, вихідні сигнали яких не змінюються при дії на систему керування неконтрольованих впливів.

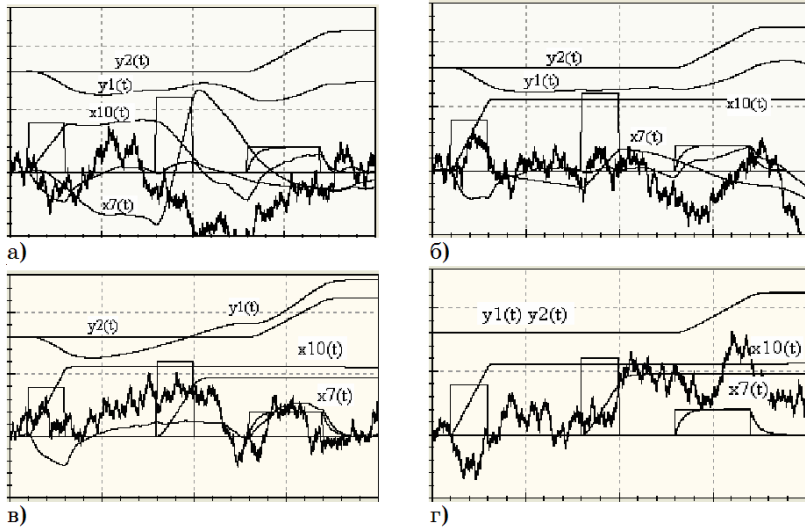


Рис. 8 – Дія неконтрольованого випадкового впливу зовнішнього середовища а) всі ДС вимкнуті, б) включено ДС каналу крену, в) включено ДС каналів крену та каналу курсу, г) всі ДС включені

### Література

1. Воробьев В.Г., Кузнецов С.В., Автоматическое управление полётом самолётов, Учеб. для вузов, -М. “Транспорт”, 1995, - 448с.
2. Клунов А.С., Продольная устойчивость и управляемость маневренного самолёта. – М. “Машиностроение”, 1988, - 200с.
3. Кулебакин В.С. Высококачественные инвариантные системы регулирования, в кн. “Теория инвариантности и её применение в автоматических устройствах”, Изд-во АН УССР, 1959.- с. 145 – 151.
4. Кухтенко А.И. Задачи инвариантности до  $\epsilon$  для систем регулирования по отклонению, в кн. . “Теория инвариантности и её применение в автоматических устройствах”, Изд-во АН УССР, 1959.- с. 205 – 214.
5. Петров Б.Н. Принцип инвариантности и условия его применения при расчете линейных и нелинейных систем, Труды I Конгресса ИФАК, т. 1, 1960.- с. 135 – 145.
6. Изерман Р. “Мир”, Цифрові системи керування. -1984, - с. 309 – 402.

Отримано 04.03.2011 р.