

УДК 629.7.018.74

М.В. Зосімович, канд. техн. наук, доц.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНО-ПІЛОТОВАНИМ АПАРАТОМ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРИРОДОРЕСУРСНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Проаналізовано методи структурно-параметричної ідентифікації автоматизованої системи керування дистанційно-пілотованим літальним апаратом для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля. Використання найкращого методу ідентифікації дозволить ефективно синтезувати систему керування подібним літальним апаратом.

Methods of structural and parametrical identification of the automated control system for unmanned flying vehicles for nature and ecological monitoring of an environment are analyzed. Using the best method of identification will allow to synthesize a control system of the similar flying device effectively.

Вступ

Дистанційно-пілотованими називають безпілотні літальні апарати (ЛА), під час телеуправління якими оператор виконує функції, близькі до дій пілота. У наш час в багатьох країнах створена величезна кількість дистанційно-пілотованих літальних апаратів (ДПЛА), які розрізняються за схемою, конструкцією та льотно-технічними характеристиками. До того ж спостерігається тенденція до створення багатоцільових ДПЛА зі злітною масою до 100 кг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Можливість створення подібних ЛА зумовлена досягнутими успіхами в галузі композиційних матеріалів [1–3], мікроелектроніки, датчиків, систем навігації, засобів збору і передавання даних. Нові пристрої можуть використовуватися на таких апаратах у вигляді недорогих малогабаритних блоків.

Постановка завдання

Алгоритмічну структуру системи керування ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля як складним об'єктом показано на рис. 1 [4].

На вхід об'єкта автоматизованої системи керування (АСК) ДПЛА надходять вектор керуючих впливів U , вектор збурень ξ_1 та додаткові ідентифікувальні впливи d .

Система вимірювання дозволяє за наявності шумів вимірювання ξ_2 вимірювати доступні (ті, що вимірюються) характеристики об'єкта керування (досить часто власне змінні стану виявляються неможливими для безпосереднього вимірювання). Сам процес побудови оцінок V змінних стану за виходом, що вимірюється W , реалізується за допомогою алгоритму оцінки стану.

Інформація про стан об'єкта далі використовується для генерації керуючих впливів, реалізуючи при цьому принцип замкнутого керування [2].

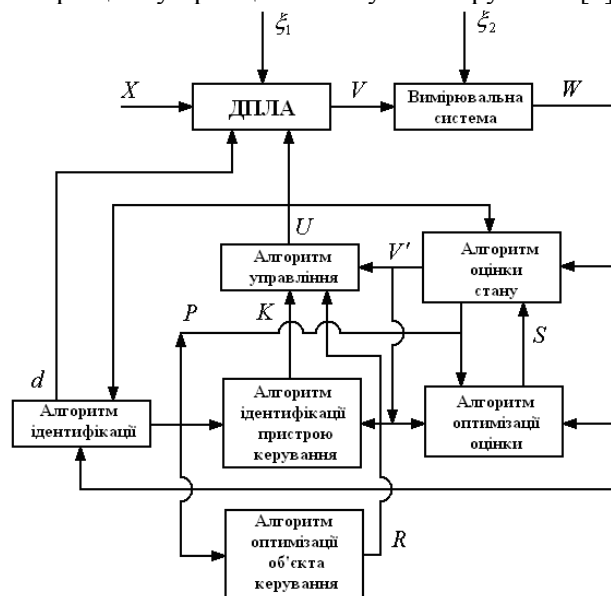


Рис. 1. Структура керування ДПЛА

Алгоритм оцінки стану настроюється за допомогою відповідного алгоритму. Сам алгоритм оцінки стану та алгоритм його настроювання функціонують на підставі оцінок параметрів P моделі об'єкта керування, які отримують відповідно до прийнятого алгоритму ідентифікації (побудова моделі об'єкта керування). Алгоритм оптимізації пристрою керування за допомогою параметрів K організує вибір оптимального алгоритму керування за отриманими оцінками вектора станів V та за вектором параметрів моделі P .

На алгоритм керування впливає й алгоритм оптимізації власне об'єкта керування (оптимізація режимів функціонування об'єкта). Як правило, цей вплив також має параметричний характер за рахунок вектора режимних параметрів R . На вхід

алгоритму оптимізації об'єкта керування надходить інформація про параметри моделі, яку отримують у результаті ідентифікації.

У більшості сучасних систем керування, особливо автоматизованих [1–3; 5], подібні алгоритми реалізуються всередині відповідних керуючих комп'ютерів та мікропроцесорів із вбудованим програмним забезпеченням [6–8]. Однак зовсім не виключається й інший, крайній варіант, коли наведена схема керування складним об'єктом повністю або частково буде реалізована в загальному режимі без використання обчислювальної техніки.

Зрозуміло також, що в реальній схемі керування таким складним об'єктом, як ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля, деяких з наведених алгоритмів може не бути.

Під час розв'язання задачі ідентифікації потрібно визначити найкращу (у певному сенсі) модель об'єкта, яка описує співвідношення між вхідними та вихідними сигналами. Модель об'єкта необхідна під час реалізації будь-якого алгоритма керування складним об'єктом через те, що вона дозволяє підказати поведінку об'єкта і визначити найефективніші керівні впливи з точки зору цілей автоматики [8].

Структурно-параметрична ідентифікація автоматизованої системи керування дистанційно-пілотованим апаратом для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля

Визначимо структуру технічної системи та формалізуємо її з урахуванням предметної області дослідження – ДПЛА для оперативного природоресурсного і екологічного моніторингу довкілля.

Під моделлю об'єкта керування розуміють оператора F , який пов'язує стан об'єкта V з його входами, за якими спостерігають (рис. 2):

$$V = F(X, U).$$

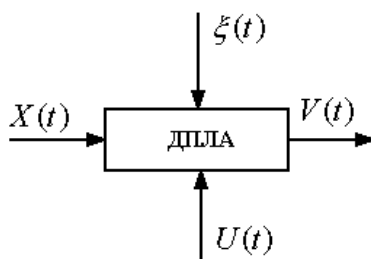


Рис. 2. Взаємодія об'єкта керування з середовищем

Під час побудови оператора моделі слід визначити структуру S оператора F та вектор невідомих параметрів моделі P :

$$F = \langle S, P \rangle.$$

Досить часто задача вибору структури моделі також може бути параметризованою [6; 7].

Різні структури можуть кодуватися вектором структурних параметрів D . Наприклад, за допомогою структурних параметрів можуть кодуватися порядок системи звичайних диференціальних рівнянь, а також вид і складність правих частин рівнянь [9].

Отже, для завдання оператора моделі потрібно задати дві групи параметрів:

$$F = \langle D, P \rangle.$$

У подальшому вважатимемо, що структура оператора моделі задана чи уже визначена та розв'язується задача параметричної ідентифікації. Розглядаючи задачі параметричної ідентифікації, припустимо, що оператор моделі заданий з точністю до вектора невідомих параметрів P :

$$V = F(X, U, P)$$

Припустимо, що задача ідентифікації розв'язується для побудови майбутньої системи керування і об'єкт поки ще некерований. При цьому модель об'єкта керування спрощується та набуває вигляду [10]:

$$V = F'(X, P).$$

Керованого входу U об'єкта в цьому разі зовсім немає. Сама ідентифікація, тобто визначення параметрів P , здійснюється на підставі інформації про спостереження за входами X та виходами V об'єкта в режимі об'єкта, що описує співвідношення в режимі нормальної експлуатації. Після отримання потрібно інформації про поведінку об'єкта формується функція нев'язки Ψ виходів моделі та об'єкта:

$$\psi(t, P) = \sum_{i=1}^m [V_i(t) - V_{iM}(t, P)]^2,$$

де $V_i(t)$ – реакція реального об'єкта на задану вхідну дію $X(t)$ за i -м виходом;

$V_{iM}(t, P)$ – відповідний (розрахунковий) вихід моделі.

На вхід моделі надходить вимірний сигнал $X(t)$ – модельне подання.

Далі структурно-параметрична ідентифікація зводиться до задачі пошуку мінімуму деякого цільового функціонала:

$$J(P) = \sum_{k=1}^N \psi(t_k, P) \rightarrow \min.$$

Припускається, що мінімізується сума значень функції нев'язки на кінцевій множині точок t_k . Мінімізація цільового функціонала здійснюється за допомогою методів параметричної оптимізації [9–11]. У результаті визначається шуканий оптимальний вектор параметрів P . А в решті-решт задача ідентифікації може зводитися до задачі мінімізації.

Прийнято розрізняти три типи оцінок стану динамічного об'єкта [10]:

- згладжування;
- фільтрацію;
- прогноз.

Під час розв'язання задачі згладжування потрібно побудувати оцінку вектора стану об'єкта в момент часу t за спостереженнями за виходом об'єкта аж до моменту t' , до того ж $t' > t$. Отже, стан визначається з деяким запізненням ($t' - t$).

У задачах фільтрації $t' = t$, а в задачах прогнозу $t' < t$.

Проведений аналіз загальної схеми керування таким складним об'єктом, як ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля, показав, що під час розв'язання задач ідентифікації вимагається визначити найкращу модель об'єкта, що описує співвідношення між вхідними та вихідними сигналами.

Задача оцінювання стану ставиться як задача знаходження найкращої з точки зору заданого критерію оцінки. У результаті встановлюється оптимальний режим протікання процесів у керуваному об'єкті та реалізується оптимальна стратегія підтримання заданого режиму за наявності збурень.

Ідентифікація автоматизованих систем керування дистанційно-пілотованими літальними апаратами

Будемо розглядати варіанти схем ідентифікації АСК ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля в режимі нормальної роботи, тобто без впливів на об'єкт.

Усі стратегії ідентифікації, що розробляються, мають нерекурентну форму, і тому власне алгоритм ідентифікації починає працювати через деякий кінцевий інтервал спостереження за

об'єктом. Цей вибір зумовлений такими двома причинами:

- подібні схеми поширені у практиці та в ряді випадків числено виявляються стійкішими за рекурентні процедури;
- зазначений підхід майже повністю ґрунтується на апараті скінченновимірної оптимізації.

Визначення оптимальних параметрів математичної моделі автоматизованих систем керування дистанційно-пілотованими літальними апаратами

Нехай оператор моделі F заданий із точністю до вектора x невідомих параметрів:

$$H_M(t) = F[G(t), x],$$

де $H_M(t)$ – вихідний сигнал моделі;

$G(t)$ – вхідний сигнал моделі та об'єкта.

Вихідний сигнал об'єкта $H(t)$ ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля показано на рис. 3.

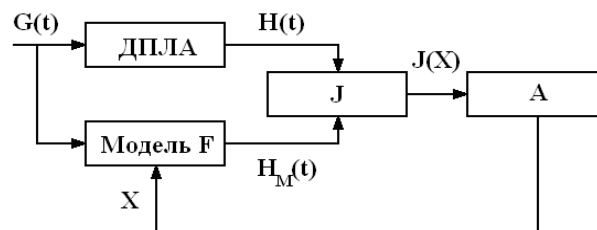


Рис. 3. Схема параметричної ідентифікації детермінованого об'єкта

Доведення параметрів моделі здійснюється у дискретні моменти часу $iT, i \in [1 : N]$, де

$T = \tau_1 + \tau_2$; τ_1 – тривалість одного циклу спостережень за об'єктом; τ_2 – термін обробки результатів спостережень. На підставі результатів робіт [1; 2; 6] припускається, що протягом одного циклу настроювання параметри, що ідентифікуються, можна вважати незмінними (сталими). При цьому сам об'єкт може бути як стаціонарним, так і нестаціонарним. Керуючий пристрій A , реалізований апаратно на базі відповідного мікропроцесора, за отриманою за відрізок часу τ_1 інформацією генерує протягом відрізка часу τ_2 вектор x , виходячи з умови мінімуму функціонала нев'язки виходів моделі та об'єкта:

$$J(x) = \int_0^{\tau_1} \|F[G(t), x] - H(t)\|^2 dt. \quad (1)$$

У формулі (1) відлік часу t здійснюється від початку i -го інтервалу спостережень. Припускається, що оператор моделі заданий алгоритмічно.

Алгоритм роботи блока A ґрунтується на реалізації прийнятої стратегії параметричної оптимізації.

Ідентифікація автоматизованих систем керування дистанційно-пілотованим літальним апаратом із використанням моделей Вольтерра

Нехай вхідний сигнал $G(t)$ нелінійного детермінованого об'єкта ідентифікації та вихідний сигнал $H(t)$ є одновимірними, до того ж $G(t) = 0$ за $t < 0$ (рис. 3). Розглянемо стаціонарний випадок, коли оператор об'єкта не залежить від часу [5].

Для стаціонарних об'єктів реакція $H(t)$ не залежить від початку дії вхідного сигналу $G(t)$ і даного моменту. За таких умов зв'язок між вхідною та вихідною змінними об'єкта можна задати рядом Вольтерра [9]:

$$H(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \omega_i(\tau_1, \dots, \tau_i) \prod_{j=1}^i G(t - \tau_j) d\tau_1 \dots d\tau_i,$$

де $\omega_i(\tau_1, \dots, \tau_i)$ – узагальнені вагові i -го порядку ($i \in [1:l]$), які підлягають ідентифікації.

На практиці зазвичай обмежуються відрізком ряду, що містить члени перших двох порядків ($l=2$). У такому разі при кінцевому інтервалі спостереження маємо

$$H(t) = \int_0^T \omega_1(\tau)G(t - \tau)d\tau + \int_0^T \int_0^T \omega_2(\tau_1, \tau_2)G(t - \tau_1)G(t - \tau_2)d\tau_1d\tau_2.$$

Параметризація задачі призводить до таких розкладань:

$$\omega_1(t_1) = \sum_{v=1}^{N_1} c_{1v} \phi_{v1}(t_1);$$

$$\omega_2(t_1, t_2) = \sum_{v=1}^{N_2} c_{2v} \phi_{v2}(t_1, t_2),$$

$$x = c_{11}, \dots, c_{1N_1}; c_{21}, \dots, c_{2N_2},$$

де $\{\phi_{v1}\}, \{\phi_{v2}\}$ – набори лінійно незалежних опорних функцій;

x – вектор параметрів, що ідентифікуються.

Інтегральна нев'язка виходів моделі та об'єкта має вигляд квадратичного функціонала:

$$J(x) = \int_0^T \left[\sum_{v=1}^{N_1} c_{1v} y_{v1}(t) + \sum_{v=1}^{N_2} c_{2v} y_{v2}(t) - H(t) \right]^2 dt, \quad (2)$$

$$y_{v1}(t) = \int_0^T \phi_{v1}(\tau)G(t - \tau)d\tau;$$

$$y_{v2}(t) = \int_0^T \int_0^T \phi_{v2}(\tau_1, \tau_2)G(t - \tau_1)G(t - \tau_2)d\tau_1d\tau_2,$$

де координати y_{v1}, y_{v2} обчислюються поза циклом оптимізації. У цьому випадку процес ідентифікації по суті збігається зі схемою на рис. 3, однак при цьому структура моделі безпосередньо не задана, а формується за допомогою ряду Вольтерра.

Обираючи опорні функції ϕ_{vi} , потрібно врахувати, що ядра ω_i рядів Вольтерра для операторів, які фізично реалізуються, мають задовольняти такі вимоги [10]:

$$\omega_i(t_1, \dots, t_i) = 0, \forall t_i < 0, i \in [1:S];$$

$$\lim_{t_i \rightarrow \infty} \omega_i(t_1, \dots, t_i) = 0, \forall t_i < 0, i \in [1:S].$$

Дискретний варіант використання моделі Вольтерра ґрунтується на зображенні ряду Вольтерра у формі

$$H[n] = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{m_1=0}^{\infty} \dots \sum_{m_i=0}^{\infty} \omega_i[m_1, \dots, m_i] \prod_{j=1}^i G[n - m_j].$$

Зміна значень вхідних та вихідних сигналів здійснюється в дискретні моменти часу $t = n$ та призводить до побудови ґратчастих функцій $\{H[n]\}, \{G[n]\}, n \in [1:N_0]$.

Якщо обмежитися двома членами ряду та скористатись параметризацією [6–8]:

$$\omega_1[m_1] = \sum_{v=1}^{N_1} c_{1v} \phi_{v1}[m_1];$$

$$\omega_2[m_1, m_2] = \sum_{v=1}^{N_2} c_{2v} \phi_{v2}[m_1, m_2],$$

де ϕ_{v1}, ϕ_{v2} – опорна система ґратчастих функцій, одержимо вираз, аналогічний функціоналу (2):

$$J(x) = \sum_{v=1}^{N_1} \left[\sum_{v=1}^{N_1} c_{1v} y_{v1}[n] + \sum_{v=1}^{N_2} c_{2v} y_{v2}[n] - H[n] \right]^2, \quad (3)$$

де $x = (c_{11}, \dots, c_{1N_1}; c_{21}, \dots, c_{2N_2})$;

$$y_{v1}[n] = \sum_{m_1}^{N_0} \phi_{v1}[m_1]G[n - m_1];$$

$$y_{v2}[n] = \sum_{m_1=0}^{N_0} \sum_{m_2=0}^{N_0} \varphi_{v2}[m_1, m_2] G[n - m_1] G[n - m_2].$$

Таким чином, під час використання моделей на основі ряду Вольтерра задача ідентифікації зводиться до задачі параметричної оптимізації квадратичними критеріями типу (2), (3). При цьому обмежень на варійовані параметри немає відсутні і маємо задачу параметричної оптимізації без обмежень. Розглянуті підходи природно узагальнюються на випадок $l > 2$.

Ідентифікація автоматизованих систем керування дистанційно-пілотованим літальним апаратом як стохастичного об'єкта

Схему зв'язку моделі та об'єкта у випадку, що розглядається, показано на рис. 4.

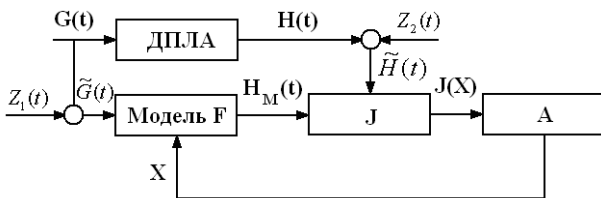


Рис. 4. Схеми ідентифікації АСУ ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля як стохастичного об'єкта

Припускається, що стохастичність є наслідком похибок вимірювань вхідного $G(t)$ та вихідного $H(t)$ сигналів детермінованого об'єкта керування. Припускається також, що збурення Z_1, Z_2 адитивні, а робочі сигнали $G(t) H(t)$ регулярні та мають певні характеристики гладкості, наприклад, неперервно диференціюються. Вихідна інформація про нелінійний об'єкт, що ідентифікується, міститься у спостереженнях входу $\tilde{G}(t)$ та виходу $\tilde{H}(t)$:

$$|\tilde{G}(t)| = G(t) + Z_1(t);$$

$$|\tilde{H}(t)| = H(t) + Z_2(t), t \in [0, T].$$

Це дозволяє перетворити задачу ідентифікації стохастичного об'єкта керування – ДПЛА – для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля до детермінованого випадку [2]. Для цього вхідні та вихідні сигнали $|\tilde{G}(t)|, |\tilde{H}(t)|$ підпадають під вплив деякого оператора усереднення.

Класичний підхід пов'язаний із розв'язанням допоміжних задач параметричної оптимізації, які ґрунтуються на стандартному методі найменших квадратів [1]:

$$N, \Gamma m. \quad \begin{matrix} \uparrow^2 \\ \downarrow^2 \end{matrix} \rightarrow \min_{c^{(1)}}; \quad (4)$$

$$J_2[c^{(2)}] = \sum_{v=1}^{N_2} \left[\sum_{i=1}^{m_2} c_i^{(2)} \varphi_i^{(2)}(t_k) - |\tilde{G}(t_k)| \right]^2 \rightarrow \min_{c^{(2)}}; \quad (5)$$

де $\{\varphi_i^{(1)}\}, \{\varphi_i^{(2)}\}$ – задані системи координатних функцій, звичайно диференційованих, що дозволяє отримати гладкі апроксимації вхідних та вихідних сигналів.

Далі використовуються процедури ідентифікації детермінованих об'єктів на основі отриманих усереднених залежностей [2]:

$$G(t) \cong \sum_{v=1}^{m_1} \hat{c}_i^{(1)} \varphi_i^{(1)}(t) = \langle \hat{c}^{(1)}, \varphi_i^{(1)}(t) \rangle; \quad (6)$$

$$H(t) \cong \sum_{v=1}^{m_2} \hat{c}_i^{(2)} \varphi_i^{(2)}(t) = \langle \hat{c}^{(2)}, \varphi_i^{(2)}(t) \rangle; \quad (7)$$

де $\hat{c}^{(1)}, \hat{c}^{(2)}$ – вектори, які є розв'язанням задач (4), (5).

Подібне наближення в середньому дозволяє використати надмірність інформації для згладжування випадкових похибок $Z_i(t)$. Як зазначено в роботі [11], ефективність згладжування є критичною до обрання координатних функцій $\{\varphi^{(1)}\}, \{\varphi^{(2)}\}$ і ця критичність зростає зі зростанням робочого діапазону t . Тому ефективнішою може виявитися процедура розбиття області зміни незалежної змінної на підобласті та побудова для кожної з них власних апроксимацій (6), (7).

Якщо $\varphi_i^{(i)}(t)$ – поліноми, то це може відповідати кусково-поліноміальній апроксимації. Інші стратегії усереднення, що ґрунтуються на методі локальної апроксимації, наведено в роботі [2]. У методі локальної апроксимації реалізовано ідею використання ковзкого інтервалу усереднення, який визначається як деяка область поточної точки t . Наприклад, для вхідного сигналу $G(t)$ згідно з методом локальної апроксимації маємо:

$$G(t) \cong \langle c(t), \varphi(0) \rangle; \hat{c}(t) = \arg \min_c J_N(t, c, \delta); \quad (8)$$

$$J_N(t, c, \delta) = N^{-1} \sum_{i=1}^N \rho \left[\frac{t-t_i}{\delta} \right] F \left[\left| \tilde{G}(t) - c^T \varphi(t-t_i) \right| \right],$$

де $\{\rho^{(i)}(t)\}$ – задана система координатних функцій;
 δ – параметр усереднення, який визначає розміри локальної області поточної точки t , в якій будується апроксимуюча залежність (8);

$\rho(U)$ – функція локальності (наприклад, $\exp[-(U)]$);

$F[*]$ – невід’ємна функція збитків.

Вибір параметра δ може ґрунтуватися на методі перехресного (ковзкого) екзамена, який пов’язаний із побудовою апроксимацій, що мають найкращі інтерполяційні властивості для вузлів, які не увійшли до базового набору $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$. Метод локальної апроксимації порівняно з класичною та кусковою схемами методу найменших квадратів дозволяє забезпечити більшу точність апроксимації за рахунок використання невеликої кількості простих координатних функцій. Однак досягається це за рахунок ускладнення реалізації.

Кореляційні методи ідентифікації автоматизованої системи керування дистанційно-пілотованим апаратом для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля

Розглянемо випадок ідентифікації АСК ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля як лінійного об’єкта зі стаціонарним ергодичним щодо кореляційних функцій, випадковим вхідним сигналом $G(t)$ (рис. 5).

Завада $Z(t)$ є адитивною:

$$\tilde{H}(t) = H(t) + Z(t), \tag{9}$$

має відмічену раніше властивість ергодичності та некорельована із вхідним сигналом. Оператор об’єкта вважається детермінованим. Вимагається побудувати оцінку вагової функції об’єкта [5].

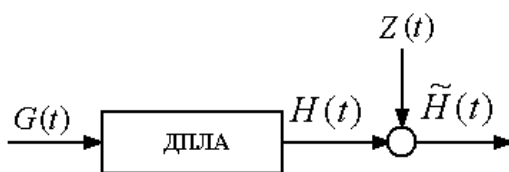


Рис. 5. Схема об’єкта ідентифікації

Припустимо, що всі реалізації, які використовувалися раніше, для випадкових процесів центровані. Із формули (9) маємо:

$$\begin{aligned} R_{\tilde{H}G} &= \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \int_0^T G(t-\tau) \left\{ \int_0^\infty \omega(\lambda) G(t-\lambda) d\lambda \right\} d\tau + \\ &+ R_{ZG}(\tau) = \int_0^\infty \omega(\lambda) \left\{ \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \int_0^\infty G(t-\tau) G(t-\lambda) dt \right\} d\lambda + \\ &+ R_{ZG}(\tau) = \int_0^\infty \omega(\lambda) R_{GG}(t-\lambda) d\lambda + R_{ZG}(\tau). \end{aligned}$$

Із некорельованості випадкових процесів $Z(t)$ й $G(t)$ маємо $R_{ZG}(\tau) = 0$. Тут із ергодичності використано вираз для кореляційних функцій, відомий як рівняння Вінера – Хопфа [8]:

$$\hat{R}_{\tilde{H}G} = \int_0^{T_\omega} \omega(\lambda) \hat{R}_{GG}(\tau - \lambda) d\lambda, \tag{10}$$

де $\hat{R}_{\tilde{H}G}, \hat{R}_{GG}$ – оцінки відповідних кореляційних функцій, що одержано в обмеженому об’ємі вимірювань;

T_ω – робочий проміжок часу, що визначається із умови $|\omega(t)| < \varepsilon \omega_{\max} \forall t > T_\omega$, де, наприклад, $\varepsilon = 0,05$.

Через те, що $\omega(t)$ спочатку невідома, то обґрунтований вибір T_ω може бути здійснено ітеративно під час розв’язання декількох задач (10) для різних T_ω . Аналогічно обираються робочі проміжки оцінок кореляційних функцій.

Розглянемо один із можливих способів розв’язання інтегрального рівняння (10). Перейдемо в рівняння (10) до дискретного часу:

$$\hat{R}_{\tilde{H}G}[qj] = \sum_{i=1}^N \omega_i \hat{R}_{GG}[q(j-i)], 1 \leq j \leq N,$$

де q – крок дискретності часу;

N – кількість часових точок;

ω_i – невідоме значення вагової функції: $\omega_i \cong \omega[q_i]$.

Функція нев’язки системи рівнянь (10) має вигляд

$$J(x) = \sum_{j=1}^N \left[\sum_{i=1}^N \omega_i \hat{R}_{GG}[q(j-i)] - \hat{R}_{GG}[qj] \right]^2,$$

де $x = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N)$.

Обираючи x з умови мінімуму функції, наближаємося до схеми ідентифікації, що показана на рис. 6.

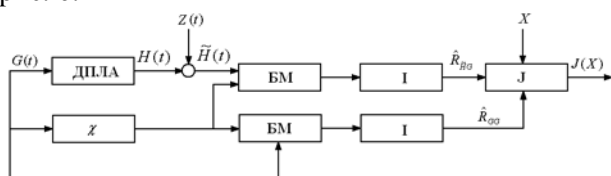


Рис. 6. Схема реалізації кореляційного методу ідентифікації АСК ДПЛА:

БМ – блоки множення;

χ – блок змінної затримки;

I – інтегратори

Дістали задачу структурно-параметричної оптимізації АСУ ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля із квадратичним цільовим функціоналом без обмежень варійованих параметрів.

Висновки

1. На підставі структурно-параметричної ідентифікації проаналізовано такі скінченновимірні методи ідентифікації АСК ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля:

- класичний;
- лінійний детермінований;
- з використанням моделей Вольтерра;
- стохастичний;
- кореляційний.

2. Сучасні методи розрахунку системи керування значною мірою ґрунтуються на концепції оптимальності, що визначає поширення методів та алгоритмів теорії оптимізації як під час проектування нових систем керування, так і при доведенні характеристик уже існуючих.

3. Використання найкращого методу ідентифікації дозволяє ефективно синтезувати систему керування ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля.

Література

1. Фатхутдинов Р.А. Управленческие решения. – М.: ИНФА, 2002. – 283 с.
2. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 356 с.
3. Бабак В.П., Синеглазов В.М., Таранов С.Г. Проблемы анализа и синтеза систем автоматического управления: навч. посіб. – К.: Кн. вид-во НАУ, 2005. – 172 с.
4. Беспилотники / Аэрокосмический вестн. – 2005. – № 8. – К.: ООО «СПЕЙС-ИНФОРМ». – С. 32–33.
5. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления. – СПб.: Лань, 2001. – 256 с.
6. Зосимович Н.В. Структурно-параметрическая оптимизация силовых конструкций дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды // Региональный вестн. молодых ученых. – М.: Academia, 2005. – № 3. – С. 97–98.
7. Катковник В.Я. Непараметрическая идентификация и сглаживание данных. – М.: Наука, 1985.
8. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. – СПб.: Лань, 2001.
9. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления: учеб. пособие. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
10. Растринин Л.А., Маджаров Н.Е. Введение в идентификацию объектов управления. – М.: Энергия, 1977. – 304 с.
11. Евтушенко Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. – М.: Наука, 1982. – 280 с.

Стаття надійшла до редакції 17.12.08.