

УДК 629.7.016.7

А.М. Зарубін, О.С. Ліходеєв, О.О. Добров

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ПОШУКУ ЕКСТРЕМУМУ КРИТЕРІЮ ЯКОСТІ

Пропонується удосконалений алгоритм сліпого пошуку (Гауса-Зейделя) критерію якості. Надається реалізація алгоритму пошуку для ідентифікації коефіцієнтів аеродинамічних сил та моментів математичної моделі динаміки польоту авіаційного тренажера. Приводяться результати дослідження удосконаленого алгоритму.

авіаційний тренажер, аеродинамічна сила, алгоритм, критерій якості

Вступ

Постановка проблеми. Одним із шляхів покращення якості імітації динаміки польоту літального апарата (ЛА) в авіаційному тренажері (АТ) є підвищення точності відтворення коефіцієнтів аеродинамічних сил та моментів математичної моделі динаміки польоту (ММДП) ЛА. Урахувати складні залежності аеродинамічних коефіцієнтів від умов та параметрів польоту ЛА можна при їх ідентифікації за результатами реального льотного експерименту. Найбільш простими, з точки зору реалізації, є пошукові методи ідентифікації на основі моделі, що наструюється [1]. Однак, ці методи мають певні недоліки, що обмежують їх використання для даної задачі. По-перше, це неможливість визначення глобального мінімуму ідентифікуемого параметра при наявності локальних екстремумів. По-друге, підвищена вимогливість алгоритмів пошуку до початкових значень ідентифікуємих коефіцієнтів. По-третє, великий час збіжності алгоритмів пошуку.

Аналіз літератури. У роботах [2 – 5] запропоновано та досліджено алгоритм ідентифікації аеродинамічних коефіцієнтів за результатами льотного експерименту на основі моделі, що динамічно наструюється. Пошук оптимальних значень здійснювався методом Гауса-Зейделя – однією з різновидностей методів сліпого пошуку (сканування) у реалізації з поверненням при невдалому кроці [6]. Було показано, що при використанні у якості початкових ідентифікованих значень коефіцієнтів, отриманих за допомогою послідовної ідентифікації на основі методу найменших квадратів, можна знайти оптимальні коефіцієнти при наявності у функції кількох екстремумів. Застосування методу найменших квадратів не тільки знижує вимогливість пошукової ідентифікації до початкових значень і надає можливість досягнення глобального екстремуму, а й підвищує швидкість збіжності алгоритму ідентифікації.

Метою статті є розробка удосконаленого пошукового алгоритму на основі метода Гауса – Зейделя з більшою швидкістю збіжності, придатного для ідентифікації коефіцієнтів ММДП АТ.

Результати досліджень

Алгоритм з поверненням при невдалому кроці пошуку відрізняється від інших, наприклад, алгоритму пошуку з парною пробою, тим, що в ньому не виконується робочих кроків у невдалому напрямку пошуку.

Алгоритм працює таким чином. У просторі пошукових параметрів здійснюється крок пошуку а. Якщо значення функціоналу якості у новому стані $J(X_{i+1})$ більше або дорівнює функціоналу якості у початковій точці $J(X_i)$, тобто спроба виявилася невдалою, то система повертається у попередній стан, після чого знову робиться крок у випадковому напрямку. Якщо функціонал якості зменшився, то зроблений крок вважається робочим і наступний крок виконується вже з нового стану:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{i+1}, \quad (1)$$

де

$$\Delta X_{i+1} = \begin{cases} a & \text{при } J(X_i) < J(X_{i-1}); \\ -\Delta X_i & \text{при } J(X_i) \geq J(X_{i-1}). \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, для реалізації методу Гауса-Зейделя в алгоритмі ідентифікації за моделлю, що наструюється, необхідно здійснити пошук за формулами (1), (2) з поканальним підключенням алгоритму ідентифікації до усіх ідентифікуємих параметрів.

Удосконалення алгоритму пошуку за методом Гауса-Зейделя здійснюється з метою підвищення збіжності пошуку. Пропонується ввести в алгоритм „прискорений” пошук у випадку, коли наступні кроки не ведуть до зменшення критерію якості, шляхом введення у формулу рекурентного пошуку (2) таких змін:

$$\Delta X_{i+1} = ka, ,$$

при $J_{i+1} \geq J_i$, де $k = [1, \dots, n]$ – коефіцієнт „прискорення”.

Таким чином, у випадку, коли критерій якості в результаті пошуку не збільшується, то обирається

крок пошуку з коефіцієнтом k , що підвищує швидкість наближення до екстремуму і збільшує збіжність алгоритму пошуку.

Структурна схема удосконаленого алгоритму має вигляд, наведений на рис. 1.

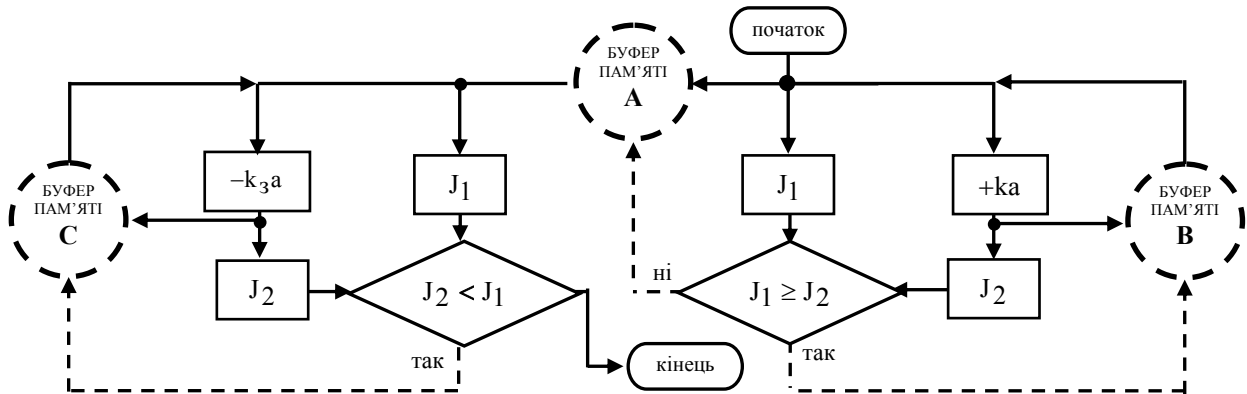
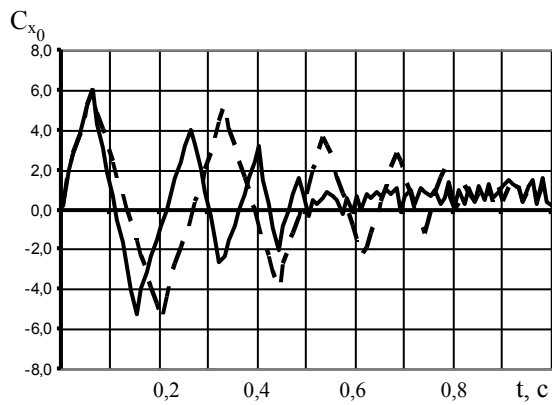
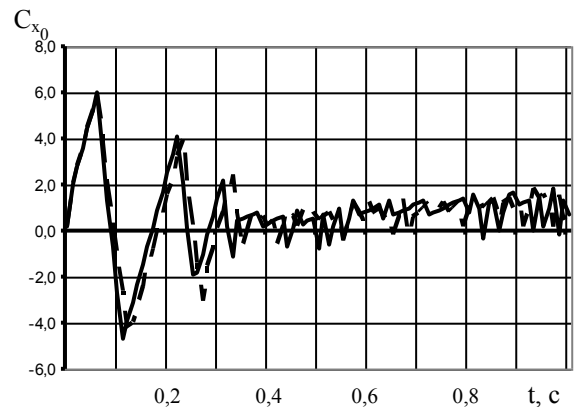


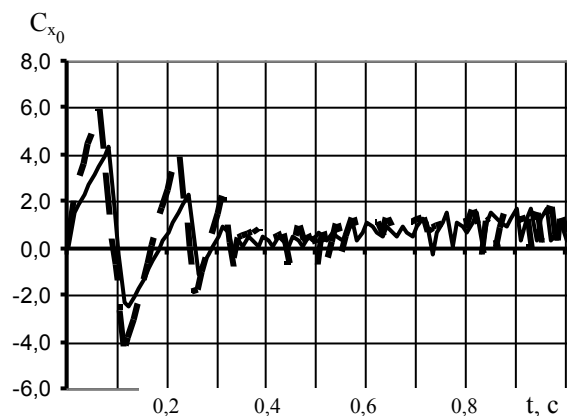
Рис. 1. Структурна схема удосконаленого алгоритму пошуку



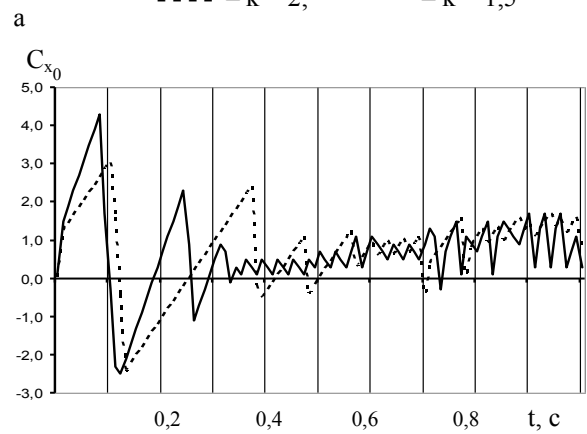
----- $k = 1$; — $k = 1,5$



----- $k = 2$; — $k = 1,5$



----- $k = 2,5; k_3 = 1$; — $k = 2,5; k_3 = 0,5$



----- $k = 2,5; k_3 = 0,25$; — $k = 2,5; k_3 = 0,5$

б

Рис. 2. Результати дослідження удосконаленого алгоритму

Значення коефіцієнта k обирається чисельним експериментом. На рис. 2, а приведені результати дослідження залежності коефіцієнта поздовжньої аеродинамічної сили $C_{x_0}(t)$ при $C_y = 0$ від коефіцієнта „прискорення” при $k = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$.

Обравши у якості критерію мінімум часу пошуку t_{Π} , який розраховується за умовою

$$|C_{x_0}(t) - C_{x_0}(\infty)| \leq 0.05 C_{x_0}(\infty) \text{ для усіх } t \geq t_{\Pi},$$

де $C_{x_0}(t)$ – поточне значення пошукового коефіцієнта

нту; $C_{x_0}(\infty)$ – кінцеве значення пошукового коефіцієнту, визначимо оптимальний коефіцієнт “прискорення”.

Звідси витікає, що час пошуку t_{Π} при зростанні коефіцієнту „прискорення” зменшується: при $k=1,0$ $t_{\Pi}=0,8$ с, а при $k=2,5$ $t_{\Pi}=0,4$ с. Таким чином, спостерігається зменшення у два рази часу пошуку. При цьому зменшується і кількість циклів пошуку до $N=7$.

Деяке покращення пошуку спостерігається при введенні такого ж коефіцієнта у зворотній напрямку пошуку, коли

$$\Delta X_{i+1} = -k_3 a, \text{ при } J_{i+1} < J_i,$$

де $k_3 = [1, \dots, n]$ – коефіцієнт „прискорення” пошуку у зворотному напрямку.

В результаті чисельного експерименту було обрано значення $k_3=0,5$. Графіки процесів для цього випадку приведені на рис. 2, б).

По результатах проведених досліджень побудуємо залежності $t_{\Pi}(k)$ та $t_{\Pi}(k_3)$ (рис. 3) для визначення оптимального коефіцієнту прискорення для прямого та зворотного напрямків пошуку.

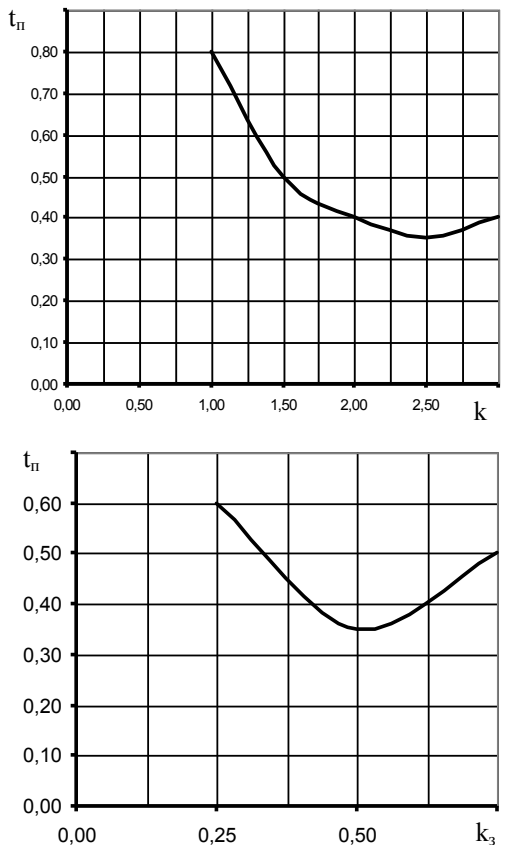
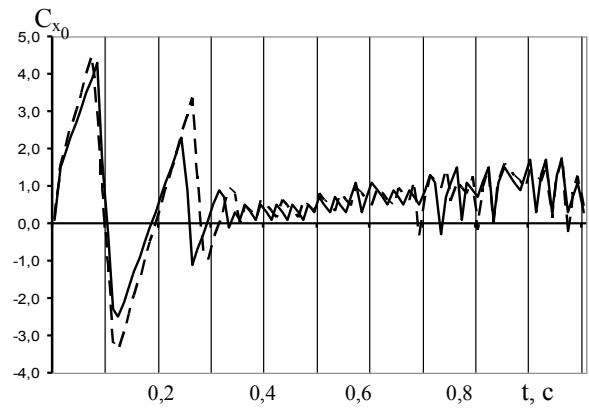


Рис. 3. Оптимальні значення коефіцієнту “прискорення”

Подальше збільшення коефіцієнтів “прискорення” k та k_3 не приводить до зменшення часу пошуку t_{Π} (рис. 4).



--- - $k=2,6; k_3=0,6$; — - $k=2,5; k_3=0,5$

Рис. 4. Результати пошуку при $k=2,6$ та $k_3=0,6$

Оптимальні значення коефіцієнтів “прискорення” що ведуть до мінімального часу пошуку, складають відповідно $k=2,5$ та $k_3=0,5$.

Висновки

Таким чином, удосконалення алгоритму пошуку за методом Гауса-Зейделя шляхом введення коефіцієнтів для зміни кроку пошуку приводить до зменшення часу пошуку (для даної реалізації) з $t_{\Pi}=0,8$ с до $t_{\Pi}=0,35$ с та числа циклів пошуку з $N=10$ до $N=7$.

Список літератури

1. Гроп Д. Методы идентификации систем. – М: Мир, 1979. – 302 с.
2. Зарубін А.М., Комаров Є. В., Добров О.О. Ідентифікація аеродинамічних характеристик літального апарату по моделі, що настраюється // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х: НТУ „ХПІ”, 2004. – С. 56-61.
3. Зарубін А.М., Комаров Є.В., Добров О.О. Побудова математичної моделі динаміки польоту пошуковим методом // Збірник наукових праць. – Х: ХІ ВПС, 2004. – № 1 (10). – С. 101-108.
4. Зарубін А.М., Комаров Є. В., Добров О.О. Способи отримання аеродинамічних коефіцієнтів літальних апаратів // Збірник наукових праць. – Х: ХУ ПС, 2005. – Вип. 6 (6). – С. 9-11.
5. Добров О.О. Дослідження впливу початкових значень параметрів на точність ідентифікації методом сканування // Системи озброєння і військова техніка. – Х: ХУ ПС, 2006. – № 1 (5). – С. 75-78.
6. Растринин Л.А. Статистические методы поиска. – М: Наука, 1968. – 376 с.

Надійшла до редколегії 1.09.2006

Рецензент: д-р техн. наук професор О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.