УДК 629.7.072.8:681.3

Л.М. Блохін, д-р техн. наук, проф.,
Г.І. Рудюк, канд. техн. наук,
О.А. Сущенко, канд. техн. наук, доц.,
В.В. Калініченко

МЕТОДОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОЇ СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Розглянуто особливості структурної ідентифікації моделей динаміки багатовимірних об'єктів. Запропоновано алгоритми для визначення передавальних функцій об'єкта ідентифікації і фільтра, що формує динамічні характеристики збурення, та метод визначення динамічних властивостей лінійного стаціонарного динамічного об'єкта.

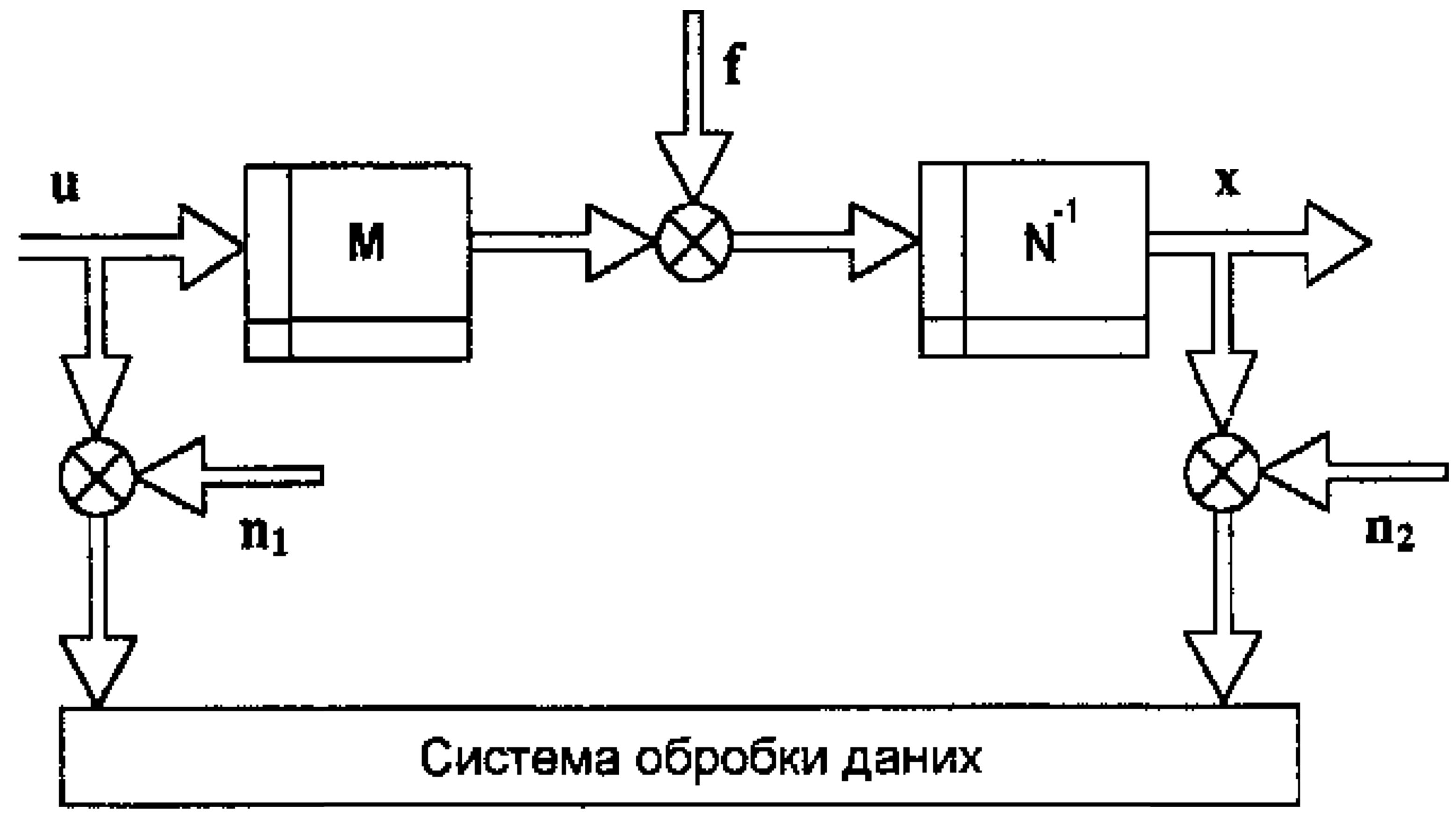
У зв'язку з різким підвищенням в останнє десятиріччя вимог щодо точності процесів керування складними динамічними системами, наприклад, літальними апаратами, необхідністю ефективного вирішення проблем «ешелонування» транспортних засобів зростає роль етапів ідентифікації моделей динаміки самих об'єктів керування і збурень, які діють на об'єкт у реальних звичайних режимах їх функціонування. Як правило, наші уявлення щодо збурених рухів таких об'єктів у стохастичних умовах їх експлуатації нечітко відображують дійсність, а в деяких випадках повністю відсутні. У таких ситуаціях практично неможливо організувати оптимальне керування зазначеними системами без використання результатів, отриманих на етапах ідентифікації.

Особливості етапів структурної ідентифікації, методологія ефективного проведення таких етапів, складності, що виникають на цьому шляху, пояснюються на прикладі структурної ідентифікації вертольота в режимі зависання.

Теоретичною базою виконання зазначеного етапу є спеціальні наукоємні технології, які покладені в основу спектральних уявлень щодо вимірюваних та ідентифікованих характеристик досліджуваного об'єкта. Особливої уваги дослідників вимагають принципова багатовимірність об'єкта, стохастичний характер впливів і збурень, контрольованих і неконтрольованих у процесі експерименту, можлива нестійкість об'єкта керування, відсутність чітких перехресних зв'язків між координатами входів та виходів та ін. При експериментах необхідно враховувати і перешкоди вимірювань. Зібрану інформацію спершу первинно обробляють для визначення потрібних спектральних характеристик «входів-виходів» об'єкта, а потім на етапі структурної ідентифікації моделей динаміки об'єкта та збурень отриману інформацію вторинно обробляють. На етапі структурної ідентифікації одночасно виконується і потрібна ідеалізація визначуваних моделей, яка має відповідати цілям оптимального керування досліджуваним об'єктом.

Під час експериментальних оцінок динамічних властивостей складного багатовимірного об'єкта, наприклад, вертольота, можуть вимірюватися лише його вхідні $\mathbf{u}$ і вихідні $\mathbf{x}$ сигнали. Збурення $\mathbf{f}$, що діють на об'єкт, як правило, не вдається вимірювати безпосередньо. Очевидно, що вимірювання проводяться неідеально і супроводжуються перешкодами. При розгляді тільки сталих режимів роботи об'єкт можна вважати стійким. При цьому необхідно враховувати, що в розімкнутих системах і системах стабілізації об'єкта, керованих за програмою, при високій якості стабілізації спостерігається некорельованість вхідних сигналів $\mathbf{u}$ зі збуреннями $\mathbf{f}$ і некорельованість перешкод і збурень, тому що вони викликаються різними фізичними факторами. Процес оцінки динамічних властивостей багатовимірного об'єкта показаний на рисунку.

Задача одержання найкращих оцінок точності динамічних характеристик лінійного стаціонарного об'єкта і вектора збурень за даними вимірювань вхідного і вихідного векторів може бути розглянута з позицій теорії оптимальної фільтрації [1; 2].



Оцінка динамічних властивостей багатовимірного об'єкта

Нехай об'єкт ідентифікації описується системою звичайних диференціальних рівнянь з

$$f=\psi\,\delta, \quad (2)$$

$p=\frac{d}{dt}$

півплощині комплексної змінної *s*. Виконавши операцію сепарації над виразом (9), запишемо алгоритм для визначення шуканої оптимальної матриці:

$$\mathbf{\Phi}=(\mathbf{\Phi}_{11},\mathbf{\Phi}_{12})=(\mathbf{K}_0+\mathbf{K}_+)\mathbf{D}^{-1}. \quad (10)$$

S_{ff} $\frac{\sigma_f^2}{\pi}$; $S_{xx}(s)=\frac{\sigma_f^2}{\pi}$ ^{2}; $\beta=\frac{\sigma_u}{\sigma_f}$; (12)

$S_{xu}(s)=-$ $S_{fx}(s)=$

S_{yy} $\frac{\sigma_u^2}{\pi s^2}$ 0

$D=$ $\frac{\sigma_u^2}{\sqrt{\pi}s^2}$ 0 (13) і далі

$$S_{x\Delta} = \frac{\sigma_f^2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)};$$

$$S_{xy} = \left[-\frac{\sigma_u^2}{\pi} \frac{s+\alpha_0}{s^2(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)}, \ \frac{\sigma_f}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)} \right]. \tag{14}$$

Підставляючи вирази (13) і (14) в рівняння (9), неважко переконатися, що

$$K_0 = K_- = 0; \tag{15}$$

$$K_f = \left[\frac{\alpha_u}{\sqrt{\pi} s} \frac{s+\alpha_0}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)}, \ \frac{\sigma_f}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)} \right]. \tag{16}$$

За допомогою співвідношень (8), (13), (15), (16) знаходимо оптимальну оцінку матриці

$$\Phi = \left[\frac{s+\alpha_0}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)}, \ \frac{\sigma_f}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)} \right].$$

Знаючи Φ, неважко отримати

$$N(s) = (s+\alpha_1)(s+\alpha_2);$$

$$M(s) = s+\alpha_0.$$

Підставляючи $N(s)$ у вираз (11), можна визначити шукану спектральну щільність впливу, що збурює:

$$S_{ff} = \frac{\sigma_f^2}{\pi}.$$

Отже, якщо вважати, що сигнали **u** і **x** вимірюються без урахування діючих перешкод, отримані в результаті ідентифікації динамічні характеристики об'єкта і збурюючого впливу не відрізняються від істинних.

Висновок. Запропонований метод розв'язання сполученої задачі вимірювання збурень та ідентифікації динамічних властивостей лінійного стаціонарного багатомірного об'єкта можна використовувати для первісних оцінок шуканих динамічних властивостей за даними такого дорогого і складного в технічному відношенні експерименту, як натурні випробування. Важливою особливістю запропонованого методу є можливість одержання зазначених оцінок за даними одного добре підготовленого експерименту.

Список літератури

1. *Блохин Л.Н.* Оптимальные системы стабилизации. – К.:Техніка, 1982. – 144 с.

2. *Ньютон Дж К., Гулд Л.А., Кайзер Дж. Ф.* Теория линейних следящих систем. – М.: ФМ, 1961. – 406 с.

3. *Blokhin L.* The problem and algorithm of optimum stochastic stabilization systems with increased nobasticity // The first international forum on astronautics and aeronautics. – Harbin. – 2000. – P.763–767.

4. *Davis M.C.* Factoring the Spectral Matrix // IESE Transactions on Automatic Control. – 1963. – Vol. AC-8. – N4. – P. 296–305.

Стаття надійшла до редакції 08.02.02.