УДК 681.518

***Олександр Віталійович Шефер** (канд. техн. наук, доцент)*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛЬНОЇ І ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ КЕРОВАНОСТІ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Метою даної статті є удосконалення процедури ідентифікації на основі однозначного відокремлення сигнального і параметричного підходу.

У практиці льотних випробувань для оцінювання параметрів часто користуються сигнальною ідентифікацією, закладаючи в математичну модель апріорно необ'єктивні результати розрахунку, або результатами продувок в аеродинамічній трубі та коефіцієнти з наступним підстроюванням їх із умови нечітко випуклого функціоналу похибки. При цьому досягається уявна адекватність моделі об'єкту – досить мала похибка, але оцінки близькі до апріорних, хоч останні можуть істотно відрізнятись від конкретних фізичних параметрів реального об'єкту.

В роботі показано різницю між апроксимативним і параметричним підходами до задачі ідентифікації та їх областями коректного застосування в засобах радіонавігації. Враховано методичний зсув внаслідок наближеності моделей, апріорно необ'єктивно задані коефіцієнти з наступним їх підстроюванням. Розглянута уявна адекватність моделі об'єкту, котра в реальних умовах відрізняється від істинних фізичних параметрів.

***Ключові слова:** радіонавігаційна система, сигнальна ідентифікація, параметрична ідентифікація, діагностика, контроль, інваріантність, адаптивне керування, ноніусний підхід.*

Вступ

Виникнення теорії ідентифікації, як математичної формалізації причино-наслідкових зв'язків в об'єктах реального світу, губиться в глибині століть. Пік розвитку її припадає на другу половину XX-го століття - період появи та швидкого розвитку засобів інформатизації та телекомунікацій.

Але і зараз не можна стверджувати, що ця теорія сформувалась і є досить коректною. Для об'єктів реального світу характерні нескінченновимірність, загальний взаємозв'язок змінних і, як наслідок, відсутність статики, лінійності взаємозв'язків (коефіцієнти взаємозв'язку, мають матеріальну природу, теж змінюються), автономності (ізольованості) і т.д.

Постановка проблеми. Для оцінки параметрів об'єкту на практиці використовують сигнальну ідентифікацією на основі часто хибних та неточних параметрів закладених у математичну модель, із наступним їх підстроюванням. При цьому досягається досить уявна адекватність моделі об'єкту, параметри котрої можуть істотно відрізнятись від конкретних фізичних параметрів реального об'єкту. Тому актуальною практичною проблемою є отримання адекватної коректної моделі об'єкту з метою підвищення керованості радіонавігаційних систем

Аналіз остатніх досліджень і публікацій. апроксимативних і параметричних підходів до задач ідентифікації викладена в [5, 6]. Практично корисним є порівняння результатів застосування цих підходів.

Метою статті є порівняння двох підходів та формування чіткого уявлення використання їх для коректності задач ідентифікації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Закономірність f_∞ зв'язує нескінченно-вимірний вектор стану $\dot{X}_\infty$, можливо і постійна, але непізнавальна:

$$\dot{X} = f_\infty\left(\dot{X}_\infty\right). \tag{1}$$

Обмежуючи просторово-часову область G_∞ зміна X_∞ достатньо малій області G розглядають лише його проекцію:

$$\dot{X}_\infty f\left(X\right), \tag{2}$$

де вектор-функція $X(t)$ - кінцевомірна.

Продовжуючи звуження області G, з певним ступенем точності ε, переходять до лінійної стаціонарної моделі:

$$\Delta\dot{X} = A\Delta X + B\Delta U. \tag{3}$$

Тут змінні реального об'єкта розділені на причинні U і наслідкові X, і взяті у відхиленнях ΔX, ΔU від деякого центру $\left(X_0, U_0\right)$ області G.

Інший спосіб пов'язує оператором W безпосередньо вхід ΔU і вихід ΔY об'єкта:

$$\Delta Y = W \cdot \Delta U. \tag{4}$$

Тут ΔU, ΔY і W можуть бути як функціями часу (W - інтеграл згортки), так і зображеннями за Лапласом (W - передавальна функція).

Неврахована підмножина $(X_\infty - X)$ реальних змінних створює наближеність моделей (3), (4). Похибка ε прямує до нуля лише при звуженні області G в точку. Але при цьому зникає необхідна для знаходження A, B або W за $\Delta X(t)$, $\Delta U(t)$, $\Delta Y(t)$ інформація. Отже, моделі (2), (3), (4) в принципі не можуть бути точними: при малих вибірках впливають швидко (відносно X, U), мінливі складові відкинутої підмножини $(X_\infty - X)$, що сприймаються як випадковий процес $N_1(t)$; при великих – теорема Чебишева не працює, внаслідок впливу повільно мінливих складових $N_2(t)$ цієї підмножини, котрі вносять не стаціонарність в усереднені характеристики випадкового процесу.

Враховуючи вищесказане, будемо розрізняти два різних підходи до задачі ідентифікації:

- *сигнальна*, коли для заданої множини вхідних сигналів U необхідно підібрати таке відображення $U(t)$ в $Y(t)$, щоб деяка норма похибки ε виходів моделі і об'єкта була менше заданої Δ:

$$\|\varepsilon\| < \Delta \tag{5}$$

тобто, сигнал $Y(t)$ апроксимується в базисі $W_i(U(t))$, перетворених операторами W_i сигналів $U(t)$;

- *параметрична*, коли на безлічі сигналів ΔX, ΔU або ΔY необхідно, крім умови (5), визначити структуру і параметри матриць А, В моделі (3),або оператора W моделі (4) усереднену за областю G, або конкретну для заданої точки (X_0, U_0, t_0) цієї області.

Сигнальна, застосовується при цілеорієнтації абстрактних моделей на задачі управління і прогнозування, *параметрична* - для діагностики і контролю конкретних параметрів реального об'єкта.

Сигнальна ідентифікація та дворазова інваріантність адаптивного управління.

Уявімо в обмеженій області G модель реального об'єкта у вигляді:

$$\Delta Y = W - \Delta U + W_1 - \Delta F + W_2 - \Delta N, \tag{6}$$

де ΔF - вектор контрольованих збурень, $\Delta N = N_1 + N_2$ - не контрольованих W, W_1, W_2 - відповідні оператори. Потрібно побудувати інваріантний до $\Delta F(t)$, оптимальний в сенсі квадратичного функціонала $I_1(\Delta Y, \Delta U)$ регулятор:

$$\Delta U(t) = W_p(\varepsilon(t,\beta)), \tag{7}$$

де β - вектор параметрів операторів W і W_i.

Похибка $\varepsilon(t)$ в (7) дорівнює:

$$\varepsilon(t) = \Delta Y^*(t) - \Delta Y(t), \tag{8}$$

де ΔY^* - задана траєкторія.

При відсутності обмежень оператор W_p лінійний:

$$\Delta U(t) = W_{p1} \cdot \varepsilon(t) + W_{p2} \cdot \Delta F(t) \tag{9}$$

Підставимо рівняння (9) в модель (6):

$$\Delta Y(t) = W\left[W_{p1}(\Delta Y^*(t) - \Delta Y(t)) + W_{p2} \cdot \Delta F(t)\right] + W_{p1} \cdot \Delta F(t) + W_2 \cdot \Delta N(t). \tag{10}$$

Звідси:

$$+\Delta Y(t) = (W \cdot W_{pl} + 1)^{-1} \cdot [W \cdot W_{pl} \cdot \Delta Y^*(t) + + (W \cdot W_{p2} + W_1) \cdot \Delta F(t) + W_2 \cdot \Delta N(t)] \tag{11}$$

Умова інваріантності до контрольованого збурення $\Delta F(t)$:

$$W_{p2} = W^{-1} \cdot W_1 \tag{12}$$

де W і W_1 - невідомі оператори моделі (6) об'єкта.

Для оцінювання W і W_1 введемо модель:

$$\Delta \overline{Y} = \overline{W}\left(\overline{\beta}\right) \cdot \Delta U + \overline{W_1}\left(\overline{\beta}\right) \cdot \Delta N_1 \tag{13}$$

вектор $\overline{\beta}$ параметрів якої оцінюється з умов мінімуму показника I_2:

$$I_2\left(\overline{\beta}\right) = \left\|\Delta Y(t) - \Delta Y\left(\overline{\beta}, t\right)\right\| \tag{14}$$

Тут має місце *сигнальна* ідентифікація: чим оперативніше оптимізується з умови мінімуму I_2 вектор $\overline{\beta}$ параметрів оператора W і, W_1 і чим повніше вони (ширше базис $W_i\left(\overline{\beta}\right)$, що апроксимує ці оператори), тим ближче $\Delta\overline{Y}$ до ΔY. При цьому побічно (за рахунок оперативного підстроювання β компенсується вплив неконтрольованих повільних збурень $N_2(t)$. У асимптотиці система володіє двократною [3] інваріантністю: до зміни параметрів об'єкта, контрольованим ΔF і низькочастотним неконтрольованим N_1 збуренням. Високочастотна складова N_2 збурень, як правило, згладжується природною інерційністю об'єкту, але впливає на якість ідентифікації моделі (13). Враховуючи нестаціонарність процесу $N(t)$, складність структури моделі (13) адаптується до темпу нестаціонарності випадкового процесу $N(t)$. Для цього доцільно застосовувати ортогональний базис, або ноніусний підхід [4] для адаптації їх розмірності до зазначеної нестаціонарності. Теоретично крайніми в ряду складності є:

- найпростіша нестаціонарна модель $\Delta\overline{Y} = \overline{k}(t) \cdot \Delta U$, де $\overline{k}(t)$ змінюється в темпі процесів $\Delta Y(t)$, $\Delta U(t)$ забезпечуючи близькість $\Delta\overline{Y}$ до ΔY об'єкта;
- найскладніша стаціонарна модель (1).

Практично ускладнення моделі (13) повинно сприяти підвищенню точності (14) і квазістаціонарності вектора $\overline{\beta}$ їх параметрів. Урахування фізичних процесів в об'єкті не обов'язкове, оцінка $\overline{\beta}$ може не мати фізичного сенсу, чітка випуклість і унімодальність показника (14), як функції $\overline{\beta}$, не обов'язкова.

Параметрична ідентифікація - оцінювання фізичних параметрів реального об'єкта.

Тут необхідно максимально врахувати фізику процесів в об'єкті при виборі структури нелінійності f в (2), матриць A, B в (3), або оператора W в (4). Моделі (3) і (4) є лінеаризацією нелінійної моделі. Лінеаризація допустима в силу гладкості нелінійності $\overline{\beta}$ (у природі ідеальні стрибки відсутні). Для однозначності і об'єктивності оцінки $\overline{\beta}$ фізичних параметрів β об'єкта, необхідно плануванням експерименту забезпечити чітку випуклість показника (14). Бажано, щоб оцінка $\overline{\beta}$ лінійно входила в вираз похибки (8), а n її компонентів $\overline{\beta}_i\left(i=\overline{1,n}\right)$ коефіцієнти при лінійно незалежних функціях чутливості похибки (8) за $\overline{\beta}_i$.

Однак, залишається її методичний зсув внаслідок наближеності моделей (2), (3), (4). Наближеність прямує до нуля, коли область G змінення змінних стягується в точку $\left(X_0, U_0, t_0\right)$. Але зі зменшенням ΔX, ΔU зростає співвідношення «шум $N(t)$ – сигнал $\Delta X(t)$». Це призводить до втрати ефективності оцінки $\overline{\beta}$. В роботі [5, 6] запропоновано метод,котрий дозволяє отримати методично несумісну ефективну оцінку $\overline{\beta}$ в точці. Точку $\left(X_0, U_0, t_0\right)$. Для цього виконується послідовний ряд однотипних (але різних за амплітудою відхилень ΔX) активних експериментів на об'єкті, кожний із яких забезпечує випуклість показника (14) для лінійного базису моделі. Знаходяться методично зміщені, але досить ефективні оцінки $\overline{\beta}$. Незміщена оцінка визначається за регресійною залежністю $\overline{\beta}\left(\left\|\Delta X\right\|\right)$, побудованої для кожного $\overline{\beta}$ на множині амплітуд $\left\|\Delta X\right\|$ і взята в точці, де $\left\|\Delta X\right\|$ дорівнює нулю.

Приклад. У короткоперіодичному поздовжньому русі літака М-17 виконано ряд «перекладань» керма висоти різної амплітуди. Для кожної «перекладки» оцінювалися коефіцієнти матриць А, В моделі (3), котрі є аеродинамічними; за ними розраховувався фізичний параметр літака - нормована відстань σ_n між центром мас і аеродинамічним фокусом літака М-17. У табл. 1 наведені значення амплітуди $\left\|\Delta\alpha\right\|$ відхилень кута атаки α й відповідне їм значення оцінки $\overline{\sigma}_n$. В останньому стовпчику дана незміщена оцінка $\overline{\sigma}=0{,}225$, отримана шляхом лінійної апроксимації табличної залежності $\overline{\sigma}\left(\left\|\Delta\alpha\right\|\right)$ і розрахунку її значення в точці нульових відхилень. Просте усереднення результатів дасть суттєво зміщену оцінку $\overline{\sigma}=0{,}18$.

Таблиця 1

Незміщені оцінки відносно значень амплітуди

$\left\|\Delta\alpha\right\|$	8,35	6,04	5,49	4,13	1,56	0
$\overline{\sigma}$	0,168	0,18	0,187	0,19	0,215	0,225

Застереження**.** Нажаль, в практиці льотних випробувань часто користуються для оцінювання параметрів *сигнальною* ідентифікацією, закладаючи в модель виду (3) апріорно необ'єктивно задані (за розрахунком, або результатами продувок в аеродинамічній трубі) коефіцієнти з наступним підстроюванням їх із умови нечітковипуклого функціонала похибки (8). При цьому досягається уявна адекватність моделі (3) об'єкту: похибка (8) досить мала, але оцінки $\overline{\beta}$ близькі до апріорних; останні ж можуть істотно відрізнятися від істинних фізичних параметрів.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У результаті порівняльного аналізу двох підходів: апроксимативного і параметричного, чітко сформовано наступне твердження:

Для коректності задачі ідентифікації слід однозначно розрізняти сигнальний і параметричний підходи. Спільність їх полягає в мінімізації похибки (8); відмінність - в моделях (абстрактної і «фізично» адекватної) і вимогам до функціоналу (14), як функції оцінки $\overline{\beta}$ (відповідно нечітка і чітка випуклість).

Література

1. ***Калман Р.*** *Очерки по математической теории систем. – М.: Мир, 1971. – 400 с.* **2.** ***Петров Б. М.*** *Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. – 259 с.* **3.** ***Костюк В. И.*** *Адаптивные системы идентификации. – К.: Техника, 1975. – 288 с.* **4.** ***Сильвестров А. Н.*** *Идентификация и оптимизация автоматических систем. // А.Н. Сильвестров, П.И. Чинаев. – М.: Энерго-атомиздат, 1983. – 200 с.* **5.** ***Сильвестров А.*** *Два альтернативных подхода к задаче идентификации реальных объектов // Проблемы управления и информатики.- 1996, № 6.– С. 54-65.* **6.** ***Шефер А.В.*** *Контроль динамики объектов – К.: Экономика и право, 2004. – 185 с.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛЬНОЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Александр Витальевич Шефер ***(канд. техн. наук, доцент)***

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина

Целью данной статьи является совершенствование процедуры идентификации на основе однозначного отделения сигнального и параметрического подходов.

В практике летных испытаний для оценки параметров часто пользуются сигнальной идентификацией, закладывая в математическую модель априорно необъективные результаты расчета, или результатами продувок в аэродинамической трубе и коэффициенты с последующей их подстройкой с учетом условия нечетко выпуклого функционала погрешности. При этом достигается мнимая адекватность модели объекта - достаточно малая погрешность, но их оценки близки к априорным, хотя последние могут существенно отличаться от конкретных физических параметров реального объекта.

В работе показана разница между аппроксимативным и параметрическим подходами применимо к задаче идентификации и их областями корректного применения в средствах радионавигации. Учтены методическое смещение вследствие близости моделей, априорно необъективно заданные коэффициенты с последующей их подстройкой. Рассмотрена воображаемая адекватность модели объекта, которая в реальных условиях отличается от истинных физических параметров.

Ключевые слова: *радионавигационная система, сигнальная идентификация, параметрическая идентификация, диагностика, контроль, инвариантность, адаптивное управление, нониусный подход.*

THE APPROACH TO TEACHING INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM OF MILITARY SOLUTIONS USING A SIMULATION MODEL OF COMBAT OPERATIONS

Oleksandr V. Shefer ***(Candidate of Technical Sciences, Associate professor)***

Poltava National technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

The purpose of this article is to improve identification procedures based on a clear separation of signal and parametric approach.

In the practice of flight tests for the estimation of the parameters, often use the signal identification, investigated into the mathematical model apriori biased results of the calculation or the results of aerodynamic tube's purging and their following adjustment with taking into account a condition of indistinctly convex functionality error. At the same time imaginary adequacy of an object's model - rather small error is reached, but their estimates are close to the aprioristic, though the last can significantly differ from concrete physical parameters of a real object.

It was shown the difference between approximative and parametric approaches of identification problem and their appropriate application in means of radio navigation. Methodological shift connected with proximity of a model and apriori biased coefficients with their subsequent adjustment were taken into account. An imaginary object model adequacy, which in the real world may differ from true physical parameters, was considered.

Keywords*: telecommunication facilities, signal identification, parametric identification, diagnostics, control, invariance, adaptive control, nonius approach.*

References

1. P. Kalman (1971) Essays on theory of mathematic systems. [*Ocherki po matematicheskoy teorii sistem*], Moskov: Myr. 400 p. 2. **B. M. Petrov** (1972) Principles of designing and building a self-tuning management systems [*Printsipyi postroeniya i proektirovaniya samonastraivayuschihsya sistem upravleniya*], Moskov: Mashinostroenie. 259 p. **3. V. I. Kostyuk** (1975) Adapted of Identification system [*Adaptivnyie sistemyi identifikatsii*]. Kyev: Tehnika. 288 p. **4. A. N. Silvestrov,** P.I. Chinaev (1983) Identification and optimization of automatic systems [*Identifikatsiya i optimizatsiya avtomaticheskih sistem*], Moskov: Energoatomizdat. 200 p. **5. A. Silvestrov** (1996) Two alternatives *methods* of tasks for Identification real objects [*Dva alternativnyih podhoda k zadache identifikatsii realnyih ob'ektov*] // Problemyi upravleniya i informatiki. 1996, No 6, pp. 54-65. **6. A.V. Shefer** (2004) Control of dynamics objects [*Kontrol dinamiki ob'ektov*], Kyiv: Ekonomika i pravo. 185 p..