КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

КУЛЯН Віктор Романович

УДК 517.97

МЕТОДИ ПОБУДОВИ МНОЖИННОЇ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

05.13.16 - застосування обчислювальної техніки,
математичного моделювання і
математичних методів у наукових дослідженнях

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1993

АВ 27.715

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00814347 (R)

Робота виконана в Київському університеті імені Тараса Шевченка.

Науковий керівник: - кандидат фізико-математичних наук, доцент Бейко І.В.

Офіційні опоненти: - доктор фізико-математичних наук, Галанов Б.О.
- кандидат фізико-математичних наук, доцент МЕЛЬНИК В. М.

Провідна установа - Інститут гідробіології АН України

Захист відбудеться "24" червня 1993р. о 14.00 на засіданні спеціалізованої ради К 068.18.10 в Київському університеті імені Тараса Шевченка за адресою: 252127, м.Київ-127, пр.Академіка Глушкова, 6, факультет кібернетики, ауд. 40.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського університету ім.Тараса Шевченка.

Автореферат надіслано "20" травня 1993р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради І.В. Бейко

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дисертаційна робота присвячена розробці та дослідженню чисельних алгоритмів множинного гарантованого оцінювання параметрів математичних моделей динамічних процесів із збуреннями, які описуються системами звичайних нелінійних диференційних рівнянь, на основі даних натурних спостережень. Запропоновані методи були застосовані для розв'язання практичних задач оцінювання складових гідроекологічної ситуації та динамічних характеристик літальних апаратів (ЛА).

Розробка та дослідження алгоритмів розв'язку задачі ідентифікації нелінійних динамічних систем і, пов'язаних з нею задач нелінійного програмування, привертали увагу багатьох вчених. Важливі теоретичні результати одержані, зокрема в роботах Н.З.Шора, В.Ф.Дем'янова, Б.М.Пшеничного, Б.Т.Поляка, Ю.М.Єрмольєва, В.В.Федорова, Є.О.Нурминського, Л.В.Васильєва, М.М.Мойсеєва, Л.С.Понтрягіна, Р.П.Федоренка, А.Н.Тихонова, Ф.Л.Чорноуська, В.Г.Литвинова, Ф.Кларка, Е.Лі, Л.Маркуса, П.Вулфа, А.Голдстейна, Є.Полака, Р.Рокафеллара та інших учених.

В задачі множинної ідентифікації параметрів на основі множини одержаних натурних траєкторій будується така оцінка параметрів моделі, яка для кожної реалізації траєкторії із заданої множини включала б значення параметрів моделі, що забезпечують визначений рівень для заданого функціоналу якості.

Задачі побудови множинних оцінок та вибору на їх основі гарантованих математичних моделей є актуальними для розв'язання практичних задач при проектуванні надійних керованих технічних систем, що функціонують в умовах збурень.

В даній роботі побудовані алгоритми гарантованої множинної оцінки параметрів математичних моделей, що належать до класів систем лінійних та нелінійних звичайних диференційних рівнянь. В зв'язку з цією задачею розроблена модифікація частотного методу для визначення початкових значень параметрів в задачах лінійної та нелінійної оптимізації. На основі розроблених алгоритмів побудована та досліджена камерна температурна модель водоймища. Наведені алгоритми реалізовані у комплексі програм для ЕОМ і застосовувались при гідроекологічній оцінці водоймища та при дослідженні характеристик стійкості та керованості ЛА за результатами натурних спостережень.

Мета роботи:

- побудова алгоритмів параметричної та гарантованої множинної ідентифікації математичних моделей для реальних процесів, що описуються системами звичайних диференційних рівнянь;
- розробка методів та алгоритмів мінімаксної оптимізації задач, що виникають при математичному моделюванні реальних керованих процесів;
- побудова алгоритмів апроксимації множини невизначеності параметрів моделі випуклою еліпсоїдальною множиною;
- розробка практично ефективних методів, алгоритмів та програм чисельного моделювання керованих процесів, які описуються системами звичайних диференційних рівнянь.

Методика досліджень. При розв'язанні поставлених задач в роботі використовувались результати випуклого аналізу, теорії необхідних умов екстремуму, конструктивної теорії чисельних методів гладкої та негладкої оптимізації, варіаційного числення, теорії оптимального керування, методів системного та прикладного моделювання.

Наукова новизна роботи полягає в розробці алгоритмів параметричної та гарантованої множинної ідентифікації динамічних систем з використанням процедур апроксимації області невизначеності параметрів оцінками в класі еліпсоїдальних множин.

Практична та теоретична цінність. Розроблені алгоритми можуть бути використані при моделюванні реальних динамічних процесів із збуреннями та пошуку оптимальних моделей з мінімізацією заданих функціоналів якості.

Реалізація результатів роботи. Запропоновані в дисертації алгоритми параметричної та гарантованої множинної ідентифікації математичних моделей збурених динамічних процесів реалізовані у комплексі програм для ЕОМ і використовувались для моделювання гідроекологічних процесів та для оцінювання характеристик стійкості та керованості ЛА.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на Республіканській конференції молодих вчених та спеціалістів "Применение информатики и вычислительной техники при решении народно- хозяйственных задач" / Минск, 1989 /, 2-й Всесоюзній конференції по ідентифікації літальних апаратів / Феодосия, 1990 /, XI Всесоюзній конференції "Проблемы теоретической кибернетики" / Волгоград, 1991/, науково- практичному семінарі "Моделирование, идентификация, синтез систем управления в химическом производстве" /Донецк, 1991 /, на наукових семінарах кафедри моделювання складних систем Київського університету ім. Т.Шевченка / 1993 /.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 5 друкованих робіт / список наводиться в кінці автореферату /.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, трьох глав, закінчення, списку основної використаної літератури / 104 найменування / та додатку.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовується актуальність обраної тематики досліджень, дається короткий огляд літератури, визначена мета роботи, приводиться короткий виклад змісту дисертації.

Перша глава присвячена огляду математичних моделей динаміки ЛА, що використовуються в процесі натурних випробувань для оцінки його динамічних характеристик.

В §1.1 сформульовані задачі дослідження динаміки ЛА в процесі натурних випробувань, особливості ЛА та зовнішнього середовища як об'єктів моделювання, припущення, що спрощують математичну модель для дослідження його динамічних властивостей. Наведені математичні моделі для опису руху ЛА як твердого тіла, реєструючих пристроїв для фіксування стану досліджуваного процесу, збурень, які викликані зовнішнім середовищем.

В §1.2 наведені моделі пружних деформацій ЛА, які виникають в процесі польоту і впливають на динамічні властивості об'єкта.

В §1.3 описано математичні моделі для дослідження параметрів аеродинамічної стійкості та керованості літака, які регламентовані нормами його експлуатаційної придатності.

Друга глава присвячена побудові та дослідженню методів гарантованого множинного оцінювання параметрів математичних моделей на множині натурних траєкторій досліджуваного процесу.

В §2.1 описано постановки задач гарантованого оцінювання параметрів математичних моделей на основі даних спостережень при випробовуваннях, методи побудови множинної гарантованої оцінки параметрів моделі для розв'язання прямої та оберненої задач оптимального керування.

Параметричну модель, що визначає співвідношення між фазовим станом процесу, керуваннями, параметрами p та збуреннями будемо визначати у класі нелінійних диференційних рівнянь вигляду

$$\dot{x}(t) = f(x(t),u(t),p,q(t)), \qquad (1)$$

із спостереженнями z, які визначаються рівнянням

$$z(t) = A(x(t),t) + b(t,q(t)), \qquad (2)$$

$$x(t)\in R^n,\ u(t)\in R^l,\ z(t)\in R^s,\ p\in P\subset R^m,\ q(\cdot)\in Q\subset R^k. \qquad (3)$$

Вважаємо, що функція f - гладка, функції u та q - вимірювані, A та b - неперервні.

Задача 1. Знайти значення p^* параметру $p\in P$ і початковий фазовий стан $x^{o*}\in X^o$, які є розв'язком задачі

$$(p^*, x^{o*}) = \arg \min_{\substack{p\in P \\ x^o\in X^o \\ q\in Q}} \max_{i\in I} \rho(\bar{z}^i(\cdot),\ z(p,x^o,q,\cdot)),$$

де натурні спостереження $\{\ \bar{z}^i(\cdot)\ \}_{i\in I}$ задані, а

$$z(p,x^0,q,t) = A(x(p,x^0,q,t),t) + b(t,q),$$

$x(p,x^0,q,\cdot)$ – розв'язок задачі Коші,

$$\dot{x}(t) = f(x(t),u(t),p,q(t)),\ x(0) = x^0,\ q(\cdot) \in Q,$$

ρ – вибрана міра нев'язки.

Пошук екстремальних значень параметрів p та x^0 моделі можна реалізувати за допомогою методів мінімаксної оптимізації.

На основі розв'язків задачі параметричної ідентифікації математичної моделі (1) за спостереженнями (2), при умовах (3) гарантована множинна оцінка параметрів p будується у класі еліпсоїдальних множин вигляду

$$Q(B,d):(B(p-d),p-d) \leqslant 1,\quad \| B \| = C, \qquad (4)$$

де B – симетрична, додатньо-визначена матриця, що визначає геометрію множинної оцінки в параметричному просторі $p_1,\ldots,p_m$ (m – розмірність вектора параметрів), d – геометричний центр еліпсоїда, $d \in R^m$, а C – задане число.

Множину (4) називають гарантованою множинною оцінкою, якщо кожне значення параметру p, одержане при довільних спостереженнях (2) та обмеженнях (3), належить $Q(B,d)$.

Пропонується ітераційна процедура побудови гарантованої множинної оцінки, яка реалізує уточнення елементів матриці B та вектора d на кожному кроці і пошук нових значень параметрів p за умови δ – адекватності моделі. Початкову матрицю B можемо вибрати одиничною, $B^0=E$, а початкове положення вектора d^0 як центр мас або чебишевський центр множини параметрів P

$$d_i^0 = \sum_{l=1}^{a} p_l^i,\quad i=\overline{1,m},$$

де a– кількість експериментів по розв'язку задачі параметричної ідентифікації для i- го параметру системи (1). На $k+1$-му кроці процедури формули для визначення B^{k+1} та d^{k+1} мають вигляд

$$B^{k+1} = B^k + \lambda_1^{k+1} \nabla_B\{(B^k(p-d^k), p-d^k)\},$$

$$d^{k+1} = d^k + \lambda_2^{k+1} \nabla_d\{(B^k(p-d^k), p-d^k)\},$$

де λ_1^{k+1}, λ_2^{k+1} такі, що

$$((B^{k+1}(\lambda_1^{k+1})(p_{\bar{I}} - d^{k+1}(\lambda_2^{k+1})), p_{\bar{I}} - d^{k+1}(\lambda_2^{k+1}) <$$

$$< (B^k(p_{i_1} - d^k), p_{i_1} - d^k),$$

де $\bar{I} = \arg\max_{i \in I} (B^{k+1}(p_i - d^{k+1}), p_i - d^{k+1})$,

$$i_1 = \arg\max_{i \in I} (B^k(p_i - d^k), p_i - d^k).$$

Крокові множники λ_1, λ_2 вибираємо за умов: $\lambda_r^m > 0$, $\sum_{r=0}^{\infty} \lambda_r^m = \infty$, $\sum_{r=0}^{\infty} (\lambda_r^m)^2 < \infty$, $m = \overline{1,2}$. На границі сфери $S(1, d^j)$, з центром у точці d^j (j - номер кроку процедури такий, що

$$(B^j(p - d^j), p - d^j) \leq 1, \forall p \in P)$$

сформуємо рівномірну δ- сітку $(y_i)_{i \in K_s}$, з вузлами y_i. В кожному вузлі y_i знайдемо вектор зовнішньої нормалі $\bar{n}_e$ і для кожного елементу множини K_{n_1} векторів зовнішньої нормалі у вузлах сітки розв'яжемо допоміжну задачу: знайти пару $(\bar{n}_l, \bar{p}_l)$, $l \in K_n$, таку, що

$$(\bar{n}_l, \bar{p}_l) = \arg \max_{p \in Q(B^j, d^j)} (n_l, p).$$

Для обчислення нового значення параметру $\bar{p}_l$ розв'яжемо задачу одномірної оптимізації

$$\bar{\lambda}_3 = \arg\max_{\lambda_3 \in \Lambda} \{ |(\bar{z}^1(t) - z(\bar{p}_1 + \lambda_3 n_1, x^0, q, t)| \leq \delta \},\ i \in I,\ q \in Q,$$

і нове положення вектора $\bar{p}_{1_n}$ визначимо за формулою

$$\bar{p}_{1_n} = \bar{p}_1 + \bar{\lambda}_3 \bar{n}_1.$$

Виконавши наведену процедуру для кожного із векторів $n_i, i \in K_n$ отримаємо новий набір точок $p_j \in P$, $j \in K_n$. За допомогою описаного вище методу побудови еліпсоїду найменшого об'єму навколо визначеної множини параметрів моделі p маємо змогу описати новий еліпсоїд, який і буде розв'язком задачі побудови оптимальної гарантованої множинної оцінки параметрів $p \in P$ математичної моделі (1) при спостереженнях (2) та обмеженнях (3).

Розроблений алгоритм гарантованої множинної ідентифікації орієнтовано на його використання разом з методом синтезу керувань "за ситуаціями " для гарантованого синтезу керувань в умовах збурень та при неповних даних.

В §2.2 описана модифікація класичного частотного методу, який грунтується на апроксимації експериментальних даних в класі гармонічних функцій за допомогою перетворення Фур'є для лінійної системи

$$\dot{x} = Ax + Bu, \qquad (6)$$

де A та B - матриці з постійними коефіцієнтами; та застосування цього методу для пошуку початкових значень параметрів математичних моделей в задачах параметричної та гарантованої множинної ідентифікації.

Оскільки для лінійної системи реакція на суму різних вхідних сигналів дорівнює сумі реакцій, що відповідають кожному вхідному сигналові окремо, розглянемо к- рівняння системи (6) для одного m- сигналу

$$\dot{x}_k = A_k x + b_{k_m} u_m,$$

$$\dot{x}_k = a_{k_1} x_1 + \ldots + a_{k_r} x_r + b_{k_m} u_m . \qquad (7)$$

Якщо візьмемо перетворення Фур'є від правої та лівої частини (7),

$$i\omega A_{k/m}(\omega) e^{i\varphi_{k/m}(\omega)} = a_{k/1} A_{1/m}(\omega) e^{i\varphi_{1/m}(\omega)} + \ldots + a_{k/r} A_{r/m}(\omega) e^{i\varphi_{r/m}(\omega)} + u_{k/m},$$

помножимо праву та ліву частину отриманого рівняння на $e^{i\omega t}$, використаємо формулу Ейлера і порівняємо уявні частини, отримаємо

$$\omega A_{k/m}(\omega) \sin(\omega t + \varphi_{k/m}(\omega) + \frac{\pi}{2}) = a_{k/1} A_{1/m} \sin(\omega t + \varphi_{1/m}(\omega)) +$$

$$+ a_{k/r} A_{r/m}(\omega) \sin(\omega t + \varphi_{r/m}(\omega)) + u_{k_m} \sin\omega t. \qquad (8)$$

З (8) бачимо, що для визначення елементів a_k матриці A та $b_{k/m}$ матриці B достатньо знати амплітудно-фазові частотні характеристики всіх елементів x по входу u_m. В рівнянні (8) окрім параметрів a_{ki} $(i=\overline{1,r})$, b_{km} є ще невідома величина t, тобто маємо r+1+1 невідомих.

Для розв'язку рівнянь такого типу застосовуємо наближений метод розрахунку амплітудно-фазових частотних характеристик досліджуваної системи на фіксованих $n \geq (r + 1)$ частотах ω_n при фіксованих значеннях $t = t_j$ параметру t. Наближений розв'язок такої системи визначаємо шляхом мінімізації середньо-квадратичної нев'язки

$$\sum_{j=1}^{n} (\varepsilon_j(t_j))^2 ,$$

де ε_j - нев'язка j -того рівняння. Вектор вузлів t_j вибирається із умови мінімального розбігу оцінок невідомих параметрів a_k, отриманих за ансамблем k- однотипних режимів, на основі якого попередньо визначаються дисперсії похибок частотних характеристик. При допущенні, що похибки не корельовані, дисперсія нев'язки визначається за формулою

$$D(\varepsilon(\omega_j t_j)) \approx \sum_{i=1}^{r} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial A_{i_{/m}}}\right)^2 D(A_{i_{/m}}),$$

де індекс j означає, що частинні похідні від аналітичного виразу нев'язки за параметрами та дисперсії обчислені у вузлах $\omega_j t_j = \omega t$. Якщо врахувати, що у системі r - лінійних алгебраїчних рівнянь, кожне рівняння якої отримано аналогічно (8),

$$\omega A_{1_{/m}}(\omega)\sin(\omega t + \varphi_{1_{/m}}(\omega) + \frac{\pi}{2}) = a_{1_1} A_{1_{/m}}(\omega)\sin(\omega t + \varphi_{1_{/m}}(\omega)) +$$

$$+ \ldots + a_{1_r} A_{r_{/m}}(\omega)\sin(\omega t + \varphi_{r_{/m}}(\omega)) + b_{1_m} \sin\omega t, \quad 1 = \overline{1,r}, \quad (9)$$

то для фіксованих вузлів ω_j маємо

$$\omega_j A_{1_{/m}}(\omega_j)\sin(\omega_j t + \varphi_{1_{/m}}(\omega_j + \frac{\pi}{2}) - a_{k_1} A_{1_{/m}}(\omega_j)\sin(\omega_j t +$$

$$+ \varphi_{1_{/m}}(\omega_j)) - \ldots - a_{1_r} A_{r_{/m}}(\omega_j)\sin(\omega_j t + \varphi_{r_{/m}}(\omega_j)) -$$

$$- b_{1_m} \sin\omega_j t = \varepsilon_j, \quad 1 = \overline{1,r}, \quad j = \overline{1,n}, \quad (10)$$

де ε_j - нев'язка 1 - го рівняння системи на частоті ω_j. Параметр ωt є аргументом періодичної функції і належить інтервалу [0, 2π], тому наближені значення a^* параметрів a системи (10) визначаємо як розв'язки задачі двомірної оптимізації на рівномірній сітці параметрів ωt та ω

$$a^* = \arg\min_{a \in P} \max_{\omega t \in \Omega} (\varepsilon(\omega t, \omega))^2,$$

де P - фізично допустима множина параметрів a.

Практичне розв'язання цієї задачі зводиться до пошуку екстремальних значень параметрів a^* системи (10) на рівномірній δ - сітці параметру ωt і частоти ω.

В третій главі алгоритми побудови гарантованої множинної оцінки параметрів математичної моделі використовуються для моделювання процесів розповсюдження забруднень в гідроекологічному середовищі. На основі "камерного підходу" розроблена та досліджена математична модель температурного режиму водоймища і побудовані гарантовані множинні оцінки параметрів моделі процесу розповсюдження забруднень в гідроекологічному середовищі.

В §3.1 описано застосування розроблених методів для дослідження та оцінки камерних моделей концентрації забруднень у водному середовищі. На основі побудованих еліпсоїдальних оцінок параметрів математичної моделі самоочищувальної здатності водоймища, розробленої в Інституті гідробіології АН України під керівництвом проф. Лаврика В.І., можна зробити висновок, що для сталої самоочищення β_{ij}, яка моделювалася в трьох параметричних класах залежностей виду:

a) $\beta^{ij} = C_o$,

в) $\beta^{ij} = \frac{Co}{v} + C_1$,

c) $\beta^{ij} = C_o + C_1 V$,

множинна оцінка параметрів виявилася найращою в параметричному класі с.

В §3.2 на основі камерного підходу побудована та досліджена досліджена математична модель температурного режиму водоймища.

При розв'язуванні ряду актуальних задач гідроекології, пов'язаних з оцінюванням концентрації забруднень, важливо врахову вати температурний режим водного середовища. На основі законів термодинаміки та камерного підходу побудовано наближену температурну модель водоймища з гарантованою множинною оцінкою параметрів моделі.

Водоймище і окремі його ділянки поділяється, згідно з морфологічними, кліматичними та іншими особливостями, на окремі камери з наближено однорідними процесами водообміну, масообміну та зміни температурного режиму. Побудована наближена модель складається із 10 камер і описується систе мою звичайних диференційних рівнянь (11)

$$\dot T_1^1 = \lambda_1^{1,4}(T_4 - T_1^1) + \lambda_1^{1,2}(T_1^2 - T_1^1) + \lambda_{1,2}^1(T_1^1 - T_2^1),$$

$$\dot T_1^2 = \lambda_1^{2,1}(T_1^2 - T_1^1) + \lambda_1^{2,5}(T_5 - T_1^2) + \lambda_{1,2}^2(T_1^2 - T_2^2),$$

$$\dot T_2^1 = \lambda_2^{1,4}(T_4 - T_2^1) + \lambda_2^{1,2}(T_2^2 - T_2^1) + \lambda_{2,1}^1(T_1^1 - T_2^1) + \lambda_{2,3}^1(T_2^1 - T_3^1),$$

$$\dot T_2^2 = \lambda_2^{2,1}(T_2^2 - T_2^1) + \lambda_2^{2,5}(T_5 - T_2^2) + \lambda_{2,1}^2(T_2^2 - T_1^2) + \lambda_{2,3}^2(T_2^2 - T_3^2),$$

$$\dot T_3^1 = \lambda_3^{1,4}(T_4 - T_3^1) + \lambda_3^{1,2}(T_3^2 - T_3^1) + \lambda_{3,2}^1(T_3^1 - T_2^1),$$

$$\dot T_3^2 = \lambda_3^{2,1}(T_3^2 - T_3^1) + \lambda_3^{2,5}(T_5 - T_3^2) + \lambda_{3,2}^2(T_3^2 - T_2^2),$$

де T_i^j - температура води на j - му рівні i - ої камери водоймища; $\lambda_i^{j,k}$ - коефіцієнт теплообміну між j - им та k - им рівнем i -ої камери; $\lambda_{i,j}^k$ - коефіцієнт теплообміну між i - ою та j - ою камерою на k - му рівні; T_4 - температура зовнішнього середовища; T_5 - температура дна. При спрощенні робочої моделі враховується рівність коефіцієнтів теплообміну між рівнями та між відповідними камерами

$$\lambda_1^{1,2} = \lambda_1^{2,1},\ \lambda_2^{1,2} = \lambda_2^{2,1},\ \lambda_3^{1,2} = \lambda_3^{2,1},$$

$$\lambda_{3,2}^1 = \lambda_{2,3}^1,\ \lambda_{3,2}^2 = \lambda_{2,3}^2,\ \lambda_{1,2}^1 = \lambda_{2,1}^1,\ \lambda_{1,2}^2 = \lambda_{2,1}^2,$$

$$\lambda_1^{1,4} = \lambda_2^{1,4},\ \lambda_1^{1,2} = \lambda_2^{1,2},\ \lambda_1^{2,5} = \lambda_2^{2,5} = \lambda_3^{2,5}.$$

$$\lambda^{1}_{1,2} = \lambda^{1}_{2,1},\ \lambda^{2}_{1,2} = \lambda^{2}_{2,1}.$$

Одержані результати розв'язання задачі параметричної ідентифікації та гарантованої множинної ідентифікації підтвердили практичну адекватність запропонованої камерної математичної моделі.

Одержано також практичний розв'язок задачі множинного оцінювання загальноприйнятих характеристик стійкості та керованості ЛА за одержаними даними натурних спостережень. Об'єктом моделювання при натурних випробовуваннях ЛА були збурені рухи ЛА в околі деякої сталої траєкторії, які виникають в результаті імпульсних варіацій керування. Використовувались моделі поздовжнього та бокового рухів ЛА. Оцінювані характеристики стійкості та керованості обчислювались на основі параметрів математичних моделей. Побудовані гарантовані оцінки в класі еліпсоїдальних множин, що апроксимують множину невизначеності параметрів моделі та оцінюваних характеристик стійкості та керованості ЛА практично використовувались при плануванні натурних експериментів нових ЛА.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Побудовані алгоритми параметричної ідентифікації математичних моделей, які описуються системами звичайних диференційних рівнянь із збуреннями і відповідні алгоритми для розв'язання практичних задач побудови гарантованих множинних оцінок параметрів на основі натурних спостережень.
2. Розроблені алгоритми множинної ідентифікації параметрів моделі у класі еліпсоїдальних множин.
3. Побудовані алгоритми ідентифікації частотними методами для ефективного оцінювання початкових значень в методах множинної ідентифікації лінійних та нелінійних моделей.
4. Побудовані алгоритми параметричної та гарантованої множинної ідентифікації математичних моделей динамічних проце-

сів із збуреннями реалізовані у вигляді комплексу програм для ЕОМ і який застосовується для оцінки параметрів стійкості та керованості ЛА та параметрів гідроекологічних процесів за даними натурних спостережень.

За темою дисертації опубліковані роботи:

1. Кулян В.Р. Застосування модифікованого частотного методу для розв'язання задачі параметричної ідентифікації. // Віс- Київського університету. Фізико - математичні науки. 1993. Вип. 3.
2. Зинько П.Н., Барсук В.И., Кулян В.Р. О моделировании динамических обьектов большой размерности методом разрешающих операторов с использованием специализированной СУбД. // Материалы научно- практического семинара "Моделирование, идентификация, синтез систем управления в химическом производстве". Донецк. 1991. - с.19.
3. Кобиляцкий Б.А., Кулян В.Р. Особенности применения частотного метода для идентификации линейных систем. // Тезисы докладов второй Всесоюзной конференции по идентификации летательных аппаратов. Феодосия. 1990. - с.32.
4. Кобиляцкий Б.А., Кулян В.Р. Параметрическая идентификация линейных систем. // Применение информатики и вычислительной техники при решении народно- хозяйственных задач. Республиканская конференция молодых ученых и специалистов. Минск. 1989. - с.48.
5. Кобиляцкий Б.А., Кулян В.Р. Минимаксный алгоритм идентификации линейных систем с помощью гармонических аппроксимаций траекторий и управлений. // Проблемы теоретической кибернетики. Тезисы докладов XI Всесоюзной конференции. Волгоград. 1990. - с.24.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підп. до друку 13.05.93 Формат 60х84/16. Папір друк. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 0,93 Ум. фарбо-відб. 0,93 . Обл.-вид.арк. 0,7
Тираж 100 пр. Зам. 193 Безкоштовно.

Віддруковано в Інституті математики АН України
252601 Київ 4, ГСП, вул. Терещенківська, 3

465932

Ab 27.715
Ab 27.715