

КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

Петрович Валентина Миколаївна

УДК 517.919:518.5:629.138+629.19

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЇ  
ЛІТАЛЬНИХ ТА КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Спеціальність 05.13.02 - математичне моделювання в наукових  
дослідженнях

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

*В.Петр*

Київ - 1996

001: 54

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

16.36.139



00757048 (V)

Дисертацією є рукопис  
Робота виконана в Київському університеті імені Тараса Шевченка

Наукові керівники:

- доктор технічних наук, професор  
Гарашенко Федір Георгійович,
- кандидат фізико-математичних наук, доцент  
Лепеха Микола Павлович.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук  
Попадинець Василь Іванович,
- кандидат технічних наук, доцент  
Харченко Олександр Григорович.

Провідна установа - Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАНУ (м.Київ).

Захист відбудеться 26 грудня 1999р. о 14.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.01.20 при Київському університеті імені Тараса Шевченка (252127, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 6, факультет кібернетики, ауд. 40).

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Київського університету імені Тараса Шевченка (252033, м.Київ, вул. Володимирська, 58).

Автореферат розісланий 25 листопада 1999р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Зінько П.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Стан питання. Одна з важливих задач інтенсивного розвитку виробництва, проектування складних технічних систем - це створення нових технологій на основі методів математичного та комп'ютерного моделювання. Оскільки універсальних методів розв'язування вказаних задач не існує, то виникають проблеми розробки предметно-орієнтованого алгоритмічного та програмного забезпечення. Першочергового значення набуває розробка інструментальних засобів, використання яких дозволяє забезпечити надійність створюваних програмних комплексів і систем, зменшити часові та матеріальні витрати на їх виробництво, забезпечити гарантованість якості. Головні труднощі, які стоять на шляху створення таких засобів, пов'язані з розробкою автоматизованих інструментальних систем для задач конкретних предметних областей, зокрема діалогових комплексів автоматизації процесу обробки даних натурного експерименту.

В дисертаційній роботі розглянуті актуальні задачі створення алгоритмічних та програмних засобів для розв'язування задач чисельного моделювання та ідентифікації літальних апаратів (ЛА), задач моделювання орієнтації космічних апаратів (КА) у просторі з різними виконавчими органами: гіродинами, пружними та рухомими елементами. Основою роботи є дослідження А.Алберта, В.О.Васильєва, О.О.Красовського, М.М.Красовського, А.Б.Куржанського, Р.Лі, П.Ейкхоффа, Е.Сейджа, Дж.Мелса і багатьох інших, а також колективу кафедри моделювання складних систем Київського університету Б.М.Бублика, Ф.Г.Гарашенка, М.Ф.Кириченка, М.П.Лепехи, О.Г.Наконечного, Д.Я.Хусаїнова.

Мета роботи: розробка чисельно-аналітичних алгоритмів моделювання руху КА, які враховують специфіку моделей руху КА з застосуванням сучасних комп'ютерних можливостей; створення алгоритмічного та програмного забезпечення для автоматизації розв'язування задач моделювання і ідентифікації параметрів літальних та космічних апаратів.

Наукова новизна. На захист виносяться такі нові результати:

- запропоновано новий підхід побудови чисельно-аналітичних алгоритмів для розв'язування задач моделювання багатовимірних систем спеціального вигляду;
- розроблені алгоритми адаптивної ідентифікації по еталонній моделі з використанням функції Ляпунова, які простіше використовувати для систем високої розмірності, а за допомогою функцій Ляпунова можна оцінювати область збіжності та стійкості;
- здійснено систематизацію відомих методів оцінювання з певною їх модифікацією, що враховує специфіку задач побудови математичних моделей руху ЛА за результатами траскторних вимірювань;
- розроблено діалогову систему автоматизації розв'язування задач ідентифікації та моделювання для практичних задач оцінювання параметрів математичних моделей руху ЛА за даними натурного експерименту, для моделювання їх руху у різних режимах польоту за заданою моделлю та імітації натурного експерименту;
- на базі розробленої системи розв'язано реальні практичні задачі:
  - моделювання поздовжнього руху конкретних ЛА (АН-24, ІЛ-62, ТУ-154);
  - моделювання орієнтації КА з системою гіродинів, пружними та рухомими елементами у просторі (24 рівняння, 47 рівнянь);
  - ідентифікації аеродинамічних параметрів різних ЛА (АН-24, ІЛ-62, ТУ-154) для рівнянь поздовжнього та бокового руху за даними натурного експерименту.

Практична цінність роботи:

1. Розроблений чисельно-аналітичний підхід дозволяє реалізувати задачі моделювання орієнтації КА у просторі, що описуються багатовимірною жорсткою системою звичайних диференціальних або диференціально-функціональних рівнянь.
2. Запропонована діалогова система ідентифікації та моделювання дозволяє розв'язувати реальні практичні задачі визначення характеристик ЛА і КА за матеріалами льотних випробувань, а

також задач моделювання руху цих об'єктів з мінімальними затратами на програмування.

3. Створене алгоритмічне та програмне забезпечення може бути застосоване при проектуванні систем керування і контролю в інших предметних областях (керування механічними і технологічними процесами), що в подальшому знижує витрати на розробку програмних засобів для задач моделювання та ідентифікації.

Методи досліджень. При виконанні роботи використовувались теоретичні розробки в області моделювання та ідентифікації (зокрема, методи, які розроблялись на кафедрі моделювання складних систем Бубликом Б.М., Гаращенко Ф.Г., Кириченко М.Ф., Наконечним О.Г., Лепехою М.П.), чисельні методи, чисельно-аналітичні підходи для розв'язування систем спеціального вигляду (багатовимірні жорсткі системи звичайних диференціальних рівнянь), загальні положення методології створення проблемно-орієнтованих діалогових комплексів програм, чисельні машинні експерименти для відпрацювання та перевірки ефективності алгоритмів на реальних системах.

Дисертація виконувалась в Київському університеті імені Тараса Шевченка на факультеті кібернетики у рамках держбюджетних та госпдоговірних тем.

В зв'язку з тим, що робота має два напрямки досліджень - розробка специфічних алгоритмів для задач моделювання руху КА і створення алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизації процесу розв'язування задач моделювання і ідентифікації невідомих параметрів ЛА, Вченою радою Київського університету було призначено двох наукових керівників.

Впровадження результатів роботи. Діалогова система та комплекс проблемно-орієнтованих програм були впроваджені або використовувались в практиці обробки даних льотних експериментів у Льотно-дослідному інституті (м. Жуковський, Московської обл.), КБ ім. П.О.Сухого, КБ ім. О.К.Антонова та інших організаціях МАП СРСР, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Обґрунтованість і достовірність результатів підтверджується коректністю математичних формулювань, теоретичним обґрунтуванням постановок задач моделювання і ідентифікації, практичним підтвердженням працездатності алгоритмів при розв'язуванні конкретних задач та порівняннями результатів розв'язування окремих задач з аналітичними, чисельними та експериментальними даними.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на III-й науково-технічній конференції МАП СРСР (м.Москва, 1986), УІ-й Всесоюзній конференції по керуванню в механічних системах (м.Львів, 1988), конференціях молодих вчених та спеціалістів "Математика та її застосування" (м.Іркутськ, 1988) та "Застосування інформатики, обчислювальної техніки при розв'язуванні народно-господарських задач" (м.Мінськ, 1989), науковому семінарі "Прогнозування та математичне моделювання катастрофічних явищ" (м.Київ, 1990), науково-практичному семінарі "Моделювання, ідентифікація, синтез систем керування" (м.Донецьк, 1991), II-й Українській конференції з автоматичного керування "Автоматика-95" (м.Львів, 1995), на семінарах Наукової Ради НАН України з проблеми "Кібернетика" Київського університету "Моделювання і оптимізація складних систем" (м.Київ, 1986-1996).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 14 робіт. Особистий внесок автора в цих працях полягає в розробці алгоритмів та програмного забезпечення для персональних комп'ютерів типу IBM PC в системі Borland C++, застосуванні їх до розв'язування реальних технічних задач.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, бібліографії та додатка. Обсяг дисертації складає 200 сторінок, включаючи 2 малюнки, 4 схеми та список використаної літератури (126 найменувань). Основний зміст викладено на 130 сторінках.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та важливість вибраної теми досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень. Зроблено огляд робіт, пов'язаних із темою дисертації. Визначено проблеми, які виникають при практичному застосуванні алгоритмів моделювання та ідентифікації, а також викладено основні результати роботи.

У першому розділі описані постановки технічних задач ідентифікації та моделювання просторового руху ЛА і КА. В цих задачах використовується апріорна інформація про реальний об'єкт (ЛА чи КА), яка дозволяє заздалегідь визначити структуру математичної моделі. Вибір моделі в значній мірі залежить від характеру наявної інформації, яка отримана під час випробувальних польотів, наявності методів та засобів обробки даних. Слід зауважити, що в багатьох випадках математичні моделі просторового руху ЛА чи КА являють собою системи диференціальних рівнянь, число яких може нараховувати 50 і більше рівнянь. Як правило, й вектор невідомих параметрів математичної моделі містить велике число компонент. Специфіка цих систем - це їх жорсткість (більша частина рівнянь системи описує високочастотні осцилюючі процеси), що робить неможливим застосування звичайних відомих методів чисельного інтегрування задачі Коші. Для розв'язування цієї проблеми у другому розділі пропонується комбінований підхід, так званий чисельно-аналітичний. Побудовані та програмно реалізовані алгоритми чисельно-аналітичного розв'язування для задач моделювання багатовимірних систем спеціального вигляду:

$$\begin{cases} \ddot{Q} = I^{-1} M - I^{-1} \dot{Q} \times \dot{Q} - I^{-1} \dot{H} - I^{-1} \dot{H} \dot{Q} + I^{-1} S \dot{q}, \\ \ddot{q} + a_{(i)} \dot{q} + b_{(i)} q = B^{(i)} \dot{Q}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{cases} \quad (1)$$

на заданому інтервалі часу  $t \in [t_0, T]$  при заданих початкових умовах

$$q^{(i)}(t_{k-1}) = q_{k-1}^{(i,0)}, \quad \dot{q}^{(i)}(t_{k-1}) = \dot{q}_{k-1}^{(i,1)}, \quad (2)$$

$$Q(t_{k-1}) = Q_k^{(0)}, \quad \dot{Q}(t_{k-1}) = \dot{Q}_k^{(1)}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

де

$$Q = \begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{pmatrix}, \quad \dot{Q} = \begin{pmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \\ \dot{U}_z \end{pmatrix}, \quad B^{(i)} = (B_x^{(i)}, B_y^{(i)}, B_z^{(i)}),$$

$$I^{-1} = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} \end{bmatrix}, \quad \dot{H} = \begin{pmatrix} \dot{H}_x & \dot{H}_y & \dot{H}_z \end{pmatrix}^T,$$

$$M = (M_x, M_y, M_z)^T, S = (S_1, S_2, S_3)^T,$$

а  $q^{(i)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  – узагальнені координати, які відповідають високочастотним коливним процесам,  $a_i, b_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  – постійні коефіцієнти.

Представимо  $Q(t)$  на відріжку  $[t_k, t_k + h]$  у вигляді

$$Q(t) = Q_k^{(0)} + Q_k^{(1)}(t - t_k) + Q_k^{(2)} \frac{(t - t_k)^2}{2!}, \quad (3)$$

де  $Q_k^{(0)}, Q_k^{(1)}$  – відомі трьохвимірні вектори, які відповідають початковим умовам в  $t = t_k$ , а трьохвимірний вектор  $Q_k^{(2)}$  отримуємо шляхом апроксимації I-го рівняння системи (1). Перед цим з точністю до  $Q_k^{(2)}$  знаходимо аналітичні розв'язки всіх  $m$  рівнянь другої підсистеми (1) у формі Коші:

1. Якщо корені характеристичного рівняння  $\lambda_{1,2}^{(i)}$  – дійсні та різні ( $\frac{a_i^2}{4} - b_i > 0$ ), то

$$q^{(i)}(t) = \frac{1}{\lambda_1^{(i)} - \lambda_2^{(i)}} [(q_{k-1}^{(i,1)} - \lambda_2^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} + \frac{r_i}{\lambda_1^{(i)}}) e^{\lambda_1^{(i)}(t-t_{k-1})} - (q_{k-1}^{(i,1)} - \lambda_1^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} + \frac{r_i}{\lambda_2^{(i)}}) e^{\lambda_2^{(i)}(t-t_{k-1})}] + \frac{r_i}{\lambda_1^{(i)} \lambda_2^{(i)}}, \quad (4)$$

$$\dot{q}^{(i)}(t) = \frac{1}{\lambda_1^{(i)} - \lambda_2^{(i)}} [(q_{k-1}^{(i,1)} - \lambda_2^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} + \frac{r_i}{\lambda_1^{(i)}}) \lambda_1^{(i)} e^{\lambda_1^{(i)}(t-t_{k-1})} - (q_{k-1}^{(i,1)} - \lambda_1^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} + \frac{r_i}{\lambda_2^{(i)}}) \lambda_2^{(i)} e^{\lambda_2^{(i)}(t-t_{k-1})}], \quad t \in [t_{k-1}, t_k]; \quad (5)$$

2. Якщо  $\lambda_{1,2}^{(i)} = \lambda^{(i)}$  - кратні ( $\frac{a_i^2}{4} - b_i = 0$ ), то

$$q^{(i)}(t) = [(q_{k-1}^{(i,0)} - (t - t_{k-1})(q_{k-1}^{(i,1)} - \lambda^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)}) + r_i(t - t_{k-1} + \frac{1}{\lambda^{(i)}})] e^{\lambda^{(i)}(t-t_{k-1})} - \frac{r_i}{\lambda^{(i)2}}, \quad (6)$$

$$\dot{q}^{(i)}(t) = [\lambda^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} + (q_{k-1}^{(i,1)} - \lambda^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)})(1 + \lambda^{(i)}(t - t_{k-1})) + r_i(t - t_{k-1} + \frac{2}{\lambda^{(i)}})] e^{\lambda^{(i)}(t-t_{k-1})}, \quad t \in [t_{k-1}, t_k]; \quad (7)$$

3. Якщо  $\lambda_{1,2}^{(i)} = \alpha^{(i)} \pm i\beta^{(i)}$  - уявні ( $\frac{a_i^2}{4} - b_i < 0$ ), то

$$q^{(i)}(t) = \frac{e^{\alpha^{(i)}(t-t_{k-1})}}{\beta^{(i)}} [\sin \beta^{(i)}(t-t_{k-1}) \{q_{k-1}^{(i,1)} - \alpha^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} + \frac{\alpha^{(i)} r_i}{\alpha^{(i)2} + \beta^{(i)2}}\} + \cos \beta^{(i)}(t-t_{k-1}) \{ \beta^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} - \frac{\beta^{(i)} r_i}{\alpha^{(i)2} + \beta^{(i)2}} \}] + \frac{r_i}{\alpha^{(i)2} + \beta^{(i)2}}, \quad (8)$$

$$\dot{q}^{(i)}(t) = \frac{\alpha^{(i)}(t-t_{k-1})}{\beta^{(i)}} [\sin \beta^{(i)}(t-t_{k-1}) \{ \alpha^{(i)} q_{k-1}^{(i,1)} - (\alpha^{(i)2} + \beta^{(i)2}) q_{k-1}^{(i,0)} + r_i \} + \beta^{(i)} q_{k-1}^{(i,0)} \cos \beta^{(i)}(t-t_{k-1})], \quad t \in [t_{k-1}, t_k]. \quad (9)$$

В формулах (4)-(9) позначено  $B^{(i)} Q_k^{(2)} = r_i$ .

Схема алгоритму чисельної реалізації:

- 1) В залежності від коренів характеристичного рівняння будемо розв'язати  $m$  лінійних неоднорідних рівнянь з (1) у формі Коші з точністю до  $Q_k^{(2)}$ ;
- 2) При цьому вектор  $Q$  можна визначити на  $k$ -му кроці у вигляді (3) або в загальній формі

$$Q(t) = Q \varphi(t), \quad (10)$$

де  $Q$  - невідома матриця розмірності  $3 \times M$ ,

$\varphi(t)$  -  $M$ -вимірний вектор лінійно-незалежних по  $t$  функцій;

- 3) Підставивши розв'язок (3) або (10) в перше рівняння (1), мінімізуємо нев'язку по  $Q$  (або по  $Q_k^{(2)}$ ).

Нев'язка по  $Q$  може бути задана цільовими функціями:

$$f(Q_k^{(2)}) = \| Q_k^{(2)} - I^{-1} M + I^{-1} (Q_k^{(1)} + Q_k^{(2)} h) \times (Q_k^{(1)} + Q_k^{(2)} h) + I^{-1} \dot{H} + I^{-1} \dot{H} (Q_k^{(1)} + Q_k^{(2)} h) - I^{-1} S \ddot{q}(t_k + h) \|^2, \quad (11)$$

$$f(Q) = \| Q \ddot{\varphi}(t_k + h) - I^{-1} M + I^{-1} Q \dot{\varphi}(t_k + h) \times Q \dot{\varphi}(t_k + h) + I^{-1} \dot{H} + I^{-1} \dot{H} Q \dot{\varphi}(t_k + h) + I^{-1} S \ddot{q}(t_k + h) \|^2. \quad (12)$$

Ці результати дозволили розв'язати задачі моделювання орієнтації КА з системою гіродинів, пружними та рухомими елементами у просторі (24 рівняння, 47 рівнянь).

Крім того, у другому розділі описані найбільш відомі методи чисельної реалізації моделі, які представлені у вигляді підсистеми алгоритмів інтегрування. Проведені чисельні експерименти для реальних практичних задач моделювання поздовжнього руху конкретних ЛА.

У третьому розділі приведені різні постановки задач ідентифікації, класифікація моделей та критеріїв оцінювання невідомих параметрів моделей.

Допустимі класи моделей:

- системи звичайних диференціальних рівнянь;
- функціональні залежності з невідомими параметрами;
- комбіновані моделі.

Критерії оцінювання:

- середньо-квадратичний зважений за перехідними процесами

$$J(\alpha) = \sum_{i=1}^n w_i \sum_{j=1}^N [X_i^M(t_j, \alpha) - X_i^E(t_j)]^2; \quad (13)$$

- мінімаксний за перехідними процесами

$$J(\alpha) = \sum_{i=1}^n w_i \max_{1 \leq j \leq N} |X_i^M(t_j, \alpha) - X_i^E(t_j)|; \quad (14)$$

- середньо-квадратичний зважений за нев'язками

$$J(\alpha) = \sum_{i=1}^n w_i \sum_{j=1}^N \Delta_i^2(t_j, \alpha), \quad (15)$$

де

$$\Delta_i(t_j, \alpha) = \dot{X}_i^E(t_j) - F_i(X^E(t_j), U^E(t_j), \alpha);$$

$$w_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Для кожної вказаної задачі запропоновано декілька альтернативних алгоритмів, доцільність введення яких продиктована прагненням задовольнити вимоги як критерію точності, так і швидкодії. З іншої сторони, для розв'язування задач ідентифікації не існує універсального алгоритму, який у будь-якому б випадку приводив до успіху. Ці задачі вимагають у кожному конкретному випадку підбору свого алгоритму. Використовуючи передбачений в системі інтерфейс з користувачем для опису

алгоритмів і широкий спектр запропонованих алгоритмів ідентифікації, можна розв'язувати задачу як у лінійній, так і в нелінійній постановці, як без обмежень, так і з обмеженнями на оцінювані параметри.

Зокрема, проблемна частина діалогової системи ідентифікації підтримується програмними модулями, які реалізують наступні алгоритми:

а) Задача Коші:

- метод Ейлера;
- метод Рунге-Кутта другого порядку;
- метод Рунге-Кутта четвертого порядку;
- метод прогнозу-корекції;
- метод Адамса;
- метод Рунге-Кутта-Фельдберга;
- метод Розенброка.

б) Задача чисельного диференціювання експериментальних даних на основі:

- побудови спеціального інтерполяційного поліному;
- побудови згладжуючого сплайну.

в) Задача розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР):

- метод Гауса;
- метод Гауса з оцінкою числа обумовленості;
- метод сингулярного представлення матриці;
- метод ортогонального розкладу матриці;
- методи псевдообернення матриці.

г) Задача мінімізації функцій багатьох змінних без обмежень:

- метод випадкових напрямків;
- метод деформованого багатогранника;
- градієнтний метод;
- спряжених градієнтів;
- метод покоординатного спуску;
- метод Флетчера-Пауела-Девідона;
- градієнтний метод з врахуванням особливостей типу "яру";
- градієнтний метод з розтягуванням простору;

- метод Пауела;

з обмеженнями:

- метод випадкових напрямків з обмеженнями;
- градієнтний метод з обмеженнями.

д) Задача лінійного оцінювання параметрів:

- шляхом зведення до розв'язування задачі СЛАР;
- рекурентні методи оцінювання (найменших квадратів та мінімаксний);
- адаптивний метод оцінювання по еталонній моделі з використанням функції Ляпунова.

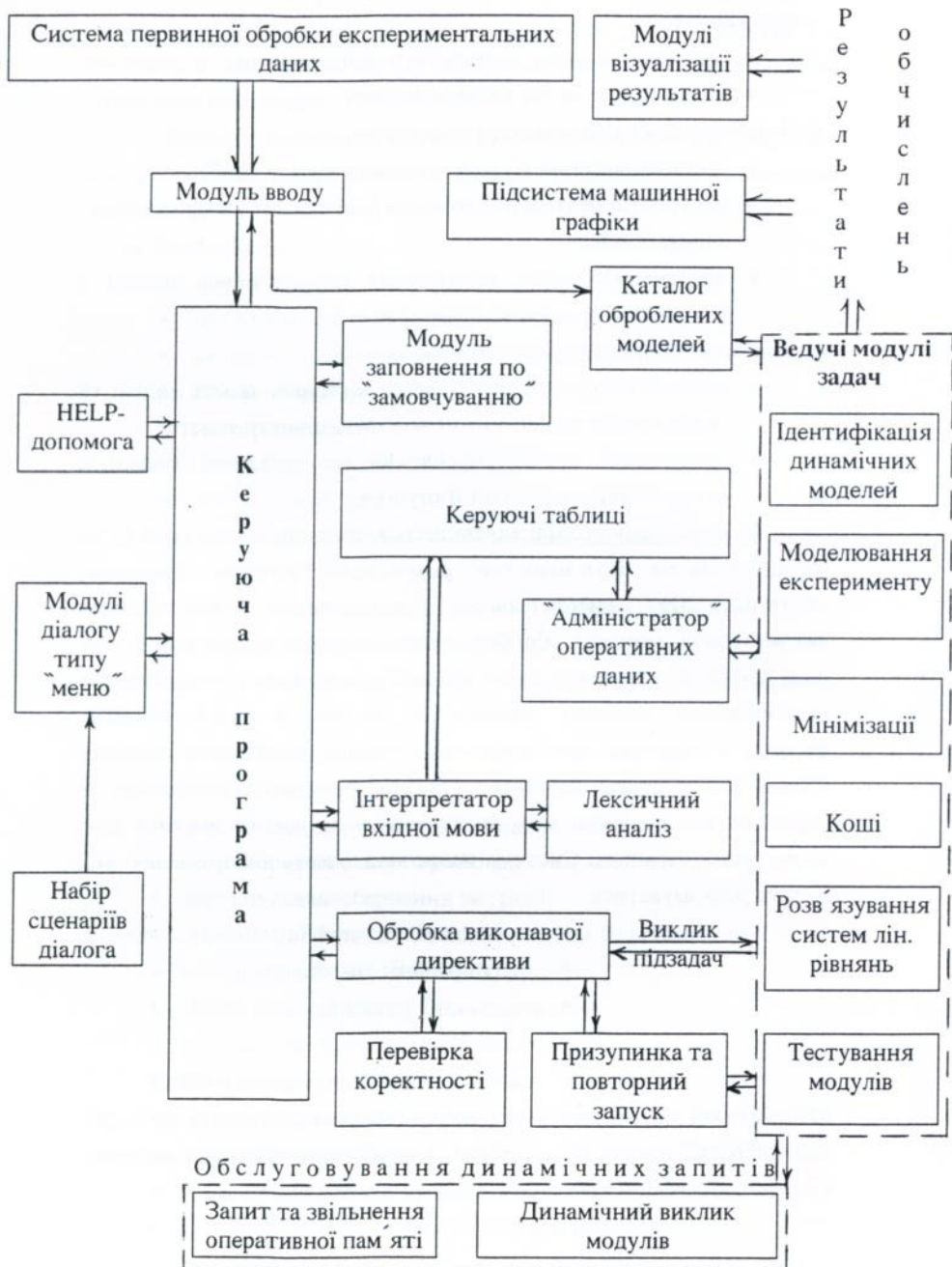
е) Задача нелінійного оцінювання параметрів:

- шляхом вибору одного із трьох критеріїв якості моделі та зведенням до задачі мінімізації функціоналу якості;
- адаптивний метод оцінювання по еталонній моделі з використанням функції Ляпунова.

У четвертому розділі приводиться опис структури (мал.1) та функціональних можливостей розробленої автором діалогової системи. Це спеціалізоване математичне забезпечення автоматизації процесу обробки даних лютних випробувань для розв'язування задач ідентифікації невідомих параметрів математичних моделей динамічних систем. В склад системи входять - комплекс проблемно-орієнтованих програмних модулів (більш 200 модулів), комплекс програм підтримки інтерфейсу з користувачем, що надає можливість опису завдання у звичних для користувача термінах. Система надає можливість вибору задач, які будуть розв'язуватись:

- моделювання;
- ідентифікації;
- мінімізації функцій;
- задачі Коші;
- задачі знаходження розв'язку СЛАР.

Математичні моделі для задач імітаційного моделювання чи задач ідентифікації можуть бути вибрані з числа каталогізованих моделей в системі або підключені до системи як зовнішні модулі.



Мал. 1.

Алгоритм розв'язування будь-якої із вказаних задач може призначатися як автоматично керуючою програмою системи, так і задаватися користувачем повністю або частково.

Важливою особливістю системи є той факт, що всі програмні модулі оформлені як незалежні від структури системи і представляють самостійний інтерес з точки зору обчислювальної математики. Вони можуть бути використані як звичайні модулі математичної бібліотеки.

Процес розв'язування всіх задач підтримується підсистемою машинної графіки. Вона дозволяє у графічній багатовіконній формі представити отримувані результати.

У висновках коротко приведені основні результати роботи.

В додатку містяться результати практичного розв'язку конкретних задач моделювання просторового руху ЛА та КА, оцінювання аеродинамічних параметрів ЛА за результатами натурних експериментів, графіки та тексти програмних модулів.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

- 1) Побудовані та програмно реалізовані алгоритми чисельно-аналітичного розв'язування задач Коші для багатовимірних систем спеціального вигляду.
- 2) Здійснено систематизацію відомих методів оцінювання з певною їх модифікацією, що враховує специфіку задач побудови математичних моделей руху ЛА за результатами траєкторних вимірювань.
- 3) Розроблено інструментарій у вигляді діалогової системи для автоматизації розв'язування задач ідентифікації та моделювання динамічних систем керування (представлено більше 15 методів оцінювання параметрів та станів). Ця система розроблена для персональних комп'ютерів типу IBM PC в середовищі MS DOS на Borland C++.
- 4) Система розроблена з урахуванням сучасних комп'ютерних технологій програмування, передбачає зручний інтерфейс з

користувачем на всіх етапах розв'язування задачі, має хорошу графічну підтримку процесу розв'язку задач.

- 5) За допомогою розробленої діалогової системи розв'язано ряд практичних задач моделювання та ідентифікації параметрів ЛА та КА, на яких були продемонстровані широкі можливості системи. Система впроваджена в практику для автоматизації обробки даних натурних випробувань.

Результати дисертаційної роботи можна також використовувати для розв'язування задач ідентифікації та моделювання інших класів моделей, які зустрічаються в задачах керування механічними та технологічними процесами.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У РОБОТАХ

1. Бевзенко Л.Д., Крячок В.Н., Лепеха Н.П., Стадник О.И. Решение задач оценивания параметров ЛА в диалоговой системе "МОДЕЛЬ" // В кн.: Труды III-й научно-технической конференции МАП СССР. - М., 1986. - Ч.1. - С.121-124.
2. Бычков А.С., Крячок В.Н., Нечаева И.Г., Хусаинов Д.Я. Оптимизационное оценивание характеристик динамических систем методом квадратичных функций Ляпунова // Динамика полета, управление и исследование операций. Тезисы докладов. - М.: Изд-во МАИ, 1990. - С. 12-13.
3. Крячок В.Н. Численное решение задач оценивания и оптимизации // Республиканская конференция молодых ученых и специалистов "Применение информатики и вычислительной техники при решении народно-хозяйственных задач". Тезисы докладов. - Минск, 1989. - С.86.
4. Крячок В.Н. О системе автоматизированного решения задач идентификации динамических систем управления // Праці II-ї Української конференції з автоматичного керування "Автоматика - 95". - Львів, 1995. - Т.2. - С.36.
5. Крячок В.М., Лешко І.М., Червак Ю.Ю. Деякі способи побудови і підсилення відтинань в цілочисельному лінійному програмуванні

- // Вісник Київського університету. Серія фізико-математичні науки. - Київ, Міністерства України, 1996. - Вип.1. - С.231 - 234.
6. Крячок В.Н., Стадник О.И. Решение задач идентификации динамических моделей в ППП "Модель" // В кн.: "Математика и ее приложения". - Иркутск, 1988. - С.12 - 18.
  7. Лепеха Н.П., Поплавский Б.К., Хусаинов Д.Я., Сироткин Г.Н., Крячок В.Н. ППП "МОДЕЛЬ" численного решения задач оценивания и оптимизации // VI Всесоюзная конференция по управлению в механических системах. Тезисы докладов. - Львов: Изд-во ЛГУ им. Ив.Франко, 1988. - С.96 - 97.
  8. Лепеха Н.П., Юнькова Е.А., Крячок В.Н. Информационно-вычислительная система оценки параметров сложных моделей с учетом неопределенности исходных данных // Научно-практический семинар "Предсказание и математическое моделирование катастрофических явлений". Тезисы докладов. - К., Общество "Знание" Украины, 1990. - С.68.
  9. Лепеха Н.П., Юнькова Е.А., Крячок В.Н. Оценивание параметров математических моделей сложных систем на ПЭВМ IBM PC // Научно-практический семинар "Моделирование, идентификация, синтез систем управления". Тезисы докладов. - К., Общество "Знание" Украины, 1991. - С.12-13.
  10. Хусаинов Д.Я., Нечаева И.Г., Крячок В.Н. Устойчивость стохастических дифференциально-функциональных систем // XV Всесоюзная школа по теории операторов в функциональных пространствах. Тезисы докладов. - Ульяновск: Изд-во Ульяновского педагогического института, 1990. - С.116.
  11. Хусаинов Д.Я., Нечаева И.Г., Крячок В.Н. Оптимизация оценок устойчивости стохастических систем. /К., 1990. - 14 с. - Деп. в УкрНИИИТИ от 28.03.90, №546 УК-90.
  12. Khusainov D., Krjachok V., Nechajeva I. Numerical methods for optimisation of guaranteed estimates in system dynamics // Abstracts 5th Conference on Numerical Methods. - Miskolc (Hungary). August 20-25, 1990. - P. 44-45.
  13. Kodgametov A., Krjachok V. Research of Stochastic systems stability // Abstracts XIIth International Conference on Nonlinear Oscillations .

- Cracow (Poland). September 2-7, 1990. - P. 38.

14. Lepeha M., Krjachok V. System for Identification of Movement Parameters of Aircrafts // First Ukrainian-German Workshop "Information Technology, Simulation and Applied Mathematics". - Kiev, September 28-30, 1994. - P. 49.

Petrovich V.M. Algorithm and software development for problems of spacecraft and aircraft modelling and identification. Manuscript. The dissertation is presented for the degree of a candidate of Technical Science of speciality code 05.13.02 - "A mathematical simulation in science investigation". Kiev University named by Taras Shevchenko, 1996.

Numerical-analytical algorithms solving the Cauchy problem for special type multidimensional systems has been designed and implemented. The interactive software package has been developed for automation of the experimental data processing and for solving dynamic systems mathematical models parameters identification problems. The package allows to simplify the preparatory stage and minimize the programming stage, provides efficient tools for plug-in and control of algorithms for identification and simulation, contains tools for graphical presentation of the problem solving process. Simulation of aircrafts and spacecrafts motion and estimation of aircrafts aerodynamic parameters using experimental data were solved by the system. It has been installed for flying experiments data treatment in the Aviation Research Institute and in a number of Design Bureaus.

Петрович В.Н. Разработка алгоритмического и программного обеспечения задач моделирования и идентификации летательных и космических аппаратов. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.02 - математическое моделирование в научных исследованиях. Киевский университет имени Тараса Шевченко. Киев, 1996.

Построены и программно реализованы алгоритмы численно-аналитического решения задач моделирования для многомерных систем специального вида. Создано диалоговую систему для автоматизации процесса обработки данных натурального эксперимента с целью решения задач моделирования движения объекта

управления, идентификации параметров математических моделей динамических систем. Система позволяет упростить этап подготовки задачи, свести к минимуму этап программирования, обеспечить эффективными средствами подключения и управления алгоритмами идентификации и моделирования, а также графического представления процесса решения задач. С помощью данной системы были решены практические задачи моделирования движения летательных и космических аппаратов, оценивания аэродинамических параметров летательных аппаратов по результатам натуральных экспериментов.

### КЛЮЧОВІ СЛОВА

Імітаційне моделювання, ідентифікація, літальний та космічний апарат, багатовимірні жорсткі системи звичайних диференціальних рівнянь, чисельно-аналітичний підхід, псевдообернення матриць, алгоритмічне та програмне забезпечення, діалогова система, проблемно-орієнтований комплекс програм, інтерфейс з користувачем.

435118

Розсилка контрольних та обов'язкових примірників автореферату проведена згідно реєстру.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Зінко П.М.