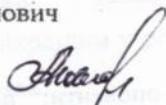


ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

---

На правах рукопису

Новгородцев Анатолій Іванович



СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ  
ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ  
НЕСТАЦІОНАРНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

05.13.04 - АСУ та системи обробки інформації

Автореферат дисертації на здобуття ступеня  
кандидата технічних наук

Харків 1997



00737317 (S)

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Інженерної електроніки"

Сумського державного університету СумДУ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Володченко Григорій Семенович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Власов Костянтин Петрович;  
кандидат технічних наук, доцент  
Підгорецький Борис Григорович.

Провідна установа: акціонерне товариство "Селмі" м. Суми

Захист відбудеться " 10 " серпня 1997 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради К02.13.02 по присудженню вченого ступеня кандидата технічних наук у Харківській державній академії міського господарства за адресою:

310002 м. Харків, вул. Революції, 12

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківської державної академії міського господарства.

Автореферат розіслано " 8 " травня 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,

к.т.н., доц.

Дядюн С.В.

### Загальна характеристика роботи.

Актуальність роботи. Удосконалення автоматизованих систем управління взаємно зв'язано з підвищенням інформативності та якістю управління динамічними процесами (об'єктами).

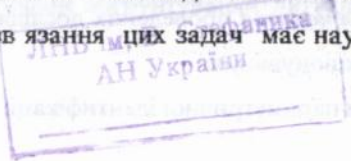
Все це створює нові завдання і проблеми технічного удосконалення інформаційно-управляючих систем (ІУС), що забезпечують управління тим або іншим класом об'єктів з найкращим у розумінні обраного критерію, якістю та в оптимальних режимах.

Інформація про об'єкт управління (ОУ) може бути отримана шляхом вимірювань відповідних параметрів або фазових координат. Але не всі параметри і фазові координати ОУ можуть бути безпосередньо виміряні та оцінені через відсутність необхідних засобів вимірювання або недосягнення цих параметрів для їх контролю.

Це призводить до зниження якості управління і особливо виявляється під час управління об'єктами, параметри яких є детермінованими або випадковими функціями часу. Такі ОУ прийнято називати нестационарними динамічними об'єктами (НДО) або процесами (НДП).

Знаходження вирішення проблеми побудови ІУС пов'язано з великими труднощами, викликаними початковою невизначеністю, неповною інформаційністю об'єкта як в параметричному, так і в фазовому просторах.

На цей час в сучасній технічній літературі розв'язане певне коло питань щодо вирішення цієї проблеми. Однак проблема побудови ІУС НДО, а також проблема комплексної оцінки і аналізу параметричного та фазового станів об'єктів з невідомими змінними у часі динамічними характеристиками, а також з неповним вимірюванням вектора фазових координат не знайшли необхідного висвітлення. Тому доцільність і необхідність розв'язання цих задач має наукову та практичну значимість.



Метою дисертаційної роботи є розв'язання задачі знаходження структури та алгоритму функціонування ІУС НДО, що працюють в умовах початкової невизначеності, нестаціонарності та неповного вектора вимірювання фазових координат. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені такі теоретичні питання:

1. Вибрані методи алгебраїчного синтезу систем оцінки стану НДО у параметричному та фазовому просторах .

2. Знайдені структура та алгоритм функціонування систем параметричної ідентифікації нестаціонарного ОУ та проведено фізичне моделювання системи, що підтверджує працездатність алгоритму.

3. Проведено синтез рекурентного алгоритму оцінки фазового стану лінійного нестаціонарного ОУ методом найменших квадратів.

4. Проведене комп'ютерне моделювання процесу оцінки стану НДО у фазовому просторі.

5. Знайдена структура та алгоритм функціонування системи оцінки перехідної матриці станів НДО.

6. Знайдені структура та алгоритм функціонування системи аналізу станів та прийняття рішень у просторі параметрів.

7. Проведено структурний синтез ІУС процесом грануляції в параметричному та фазовому просторах.

8. Побудована адаптована ІУС з елементами штучного інтелекту.

За основу розв'язання поставленої задачі покладено метод простору станів, згідно з яким НДО подається математичною моделлю, що адекватно відображає фізичні процеси, що виникають у реальному ОУ.

Наукова новизна проведених досліджень міститься у розробці алгоритмів функціонування:

- системи параметричної ідентифікації НДО;

- системи оцінки перехідної матриці станів НДО;
- системи аналізу станів та прийняття рішень у просторі параметрів;
- ІУС НДО у параметричному та фазовому просторах.

**Практична цінність.** Розроблені алгоритми систем ідентифікації, оцінки перехідної матриці станів, а також системи аналізу станів та прийняття рішень у просторі параметрів у теперішній час використовуються під час побудови систем управління процесами грануляції ОАТ “Суміхімпром”, у системах технічного зору технологічних процесів виготовлення поршневих кілець ПТ ЗПК (м. Лебедин), а також у навчальному процесі фізико-технічного факультету СумДУ.

**Апробація роботи.** Наукові результати дисертаційної роботи доповідались та були схвалені на Другій українській конференції з автоматичного управління “Автоматика - 95”, м.Львів, 1995 р.; Науково-технічній конференції “Техніка і фізика електронних приладів”, м.Суми, 1995р.; Міжнародній науково-технічній конференції “Автоматизація проектування та виробництва виробів у машинобудуванні”, м.Київ, 1995 р.; Третій українській конференції з автоматичного управління “Автоматика - 96”, м.Севастополь, 1996 р.; Науково-технічному семінарі “Інформаційні та управляючі системи промислової електроніки”, Суми, СумДУ, 1996 р.

**Публікації.** За результатами роботи опубліковано 7 статей, 13 тез доповідей, одержано одне авторське свідоцтво, дві статті здано до друку.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури, який містить 85 праць (найменувань), додатки. Робота складається з 137 сторінок основного тексту, 16 рисунків та 50 сторінок додатків.

**Основний зміст роботи.** У вступі подане обґрунтування актуальності

дисертаційної роботи, сформульовані мета й завдання досліджень, стисло охарактеризовані наукова новина та практичне значення одержаних результатів. Сформульовані основні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі проведено аналіз стану задачі структурного синтезу ІУС НДП. Подаються класифікація адаптивних систем управління, та основні невирішені питання завдань досліджень. Формулюється математична постановка завдання дослідження, що складається із знаходження структури ІУС багатомірних, лінійних НДП, поведінка яких описується системою нестационарних диференціальних рівнянь виду

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A(t)X(t) + B(t)U(t) + C(t)f(t); \\ Y(t) &= HX(t) + W(t), \end{aligned} \quad (1.1)$$

де  $X(t)$  - вектор стану;  $A(t)$  - динамічні матриці;  $B(t), C(t)$  - матриці управління та збурювань відповідно;  $Y(t)$  - вектор вимірювання;  $W(t)$  - вектор завад;  $U(t)$  - вектор управління;  $f(t)$  - вектор збурювань;  $H$  - матриця вимірювань, що реалізується на основі застосування адаптації, ідентифікації, аналізу та прогнозування станів ОУ у параметричному та фазовому просторах, яка шукається:

а) методами алгоритмічного синтезу інформаційних систем оцінки, аналізу та прогнозування станів нестационарних ОУ у параметричному та фазовому просторах;

б) шляхом розробки стратегії оптимального управління багатомірними, лінійними НДО з неповним вектором вимірювання фазових координат методом динамічного програмування;

в) створенням математичного та програмного забезпечення ІУС, а також оцінки аналізу та прогнозування станів НДП у параметричному та фазовому просторах, що є основою для побудови складних адаптивних та автоматизованих систем.

Поставлене завдання досліджень враховує всі основні питання при знаходженні стратегії ІУС оптимального управління стохастичним об'єктом: інформативність, реалізація, стійкість та якість.

Для розв'язання питань поставленого завдання дослідження була використана математична модель специфічного НДП з неповним вектором вимірювання фазових координат та змінними у часі динамічними параметрами, що найбільш повно відповідають умовам поставленого завдання дослідження.

При цьому вважається, що одержані в ході дослідження результати можуть бути розповсюджені на більш широкий клас НДП.

У другому розділі розглядаються вступ до аналітичного конструювання ІУС НДП, аспекти розв'язку задач синтезу, надана математична постановка технічного завдання. Для НДП, поведінка яких описується векторно-матричною формою у змінних стану,

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)U(t) + C(t)f(t), \quad (2.1)$$

$$Y(t) = HX(t) + V(t), \quad (2.2)$$

де  $X - n$  - вектор стану;  $U - e$  - вектор управління;

$Y - m$  - вектор вимірювань;  $f - r$  - вектор збурювань,

$V(t)$  - вектор шумів вимірювання і

визначається дискретна математична модель у вигляді різницевого рівняння:

$$X_{k+1} = \Phi_{k+1,k} X_k + \Gamma_{k+1} U_k + G_{k+1,k} f_k, \quad (2.3)$$

$$Y_{k+1} = HX_{k+1} + V_{k+1}, \quad (2.4)$$

що застосовуються як для детермінованої постановки, так і для стохастичного випадку. Для стохастичної задачі вектори стану та вихідних змінних об'єкта являє собою випадкові процеси, створені випадковими збурюваннями на входах та виходах об'єкта або випадковими завадами у каналах вимірювань. При цьому у завданні, що розглядаємо,  $X(0) = X_0$ ,  $f_k$  мають випадкову природу.  $\{f_k\}$  -  $r$ -мірна біла гаусовська послідовність з математичним очікуванням

$$E[f_k] = m_k \quad \text{та} \quad \text{коваріаційною матрицею}$$

$$E[(f_i - m_i)(f_k - m_k)^T] = \theta_k \delta_{i,k}, \quad (i = 0, 1, \dots), \quad \text{де } \theta_k - \text{деяка}$$

позитивна напіввизначена матриця;  $\delta_{i,k}$  - символ Кронекера;  $X_0$  - гаусовський випадковий  $n$ -вектор з відомим математичним очікуванням

$$E[X_0] = \bar{X}_0 \quad \text{та} \quad \text{коваріаційною матрицею помилок вимірювань}$$

$$E[(X_0 - \hat{X}_0)(X_0 - \hat{X}_0)^T] = P_0. \quad \text{При цьому } f_k \text{ не залежить}$$

$$\text{від } X_0, \quad \text{тобто } E[(X_0 - \hat{X}_0)(f_k - m_k)^T] = 0.$$

Таким чином, система (2.3, 2.4) повністю визначає зв'язок між дискретними значеннями вхідних та вихідних сигналів об'єкта та дискретним аналогом початкової системи диференціальних рівнянь (2.1, 2.2).

Пропонується, що вимірювальні датчики та перетворювальні пристрої є безінерційні ланки з одиничним коефіцієнтом перетворення. Вважаються відомими статистичні характеристики шумів вимірювання виходу, початкового стану та зовнішніх збурювань. На

управляючу дію накладені обмеження  $U(t) \subseteq U_w$ , де  $U_w$  - визначена область допустимих управлінь.

Розгляд ається виконавчий орган, що здійснює змінювання входу з швидкістю, постійною за величиною, але реверсивною за знаком, згідно з рівнянням  $\dot{S} = C_1 \text{Sign} U_0(t - \tau)$ , де  $C_1$  - швидкісна характеристика;  $\tau$  - запізнювання виконавчого органу;  $U_0$  - управління на його вході.

Для знаходження закону управління, котрий фізично реалізується та який забезпечував би стійкість замкненої системи, а також мінімізував би на інтервалі  $[0, T]$  критерій якості

$$J = E \left\{ X^T V X + \int_{T_0}^T [X^T V X + \varepsilon U^T W U] dt \right\} \Rightarrow \min,$$

де  $\varepsilon$  - деякий постійний коефіцієнт штрафу, що враховує обмеження на управління;  $V, W$  - змінні у часі позитивно визначені симетричні матриці, необхідна інформація про стан об'єкта у параметричному та фазовому просторах у кожний дискретний момент часу.

Сформульоване завдання являє собою типову задачу оптимізації, що враховує всі головні проблеми, які виникають під час синтезу стохастичних систем: здатність до реалізації, стійкість, якість. Її розв'язання в аналітичному вигляді є прийнятним для практики, якщо вдало вибрані початкові параметри вагових матриць  $V, W$  та відомі закони їх змінювання.

У третьому розділі розв'язуються задачі алгоритмічного синтезу систем параметричної та фазової ідентифікації. Викладаються математичні методи синтезу алгоритмів функціонування ІУС ідентифікації у параметричному та фазовому просторах. При розв'язуванні задач ідентифікації використані методи моделей з паралельним включенням, які са-

мі налагоджуються. Функціонування адаптивних систем ідентифікації базується на ітераційному методі, що дозволяє у кожному наступному циклі здійснювати оцінку параметрів ОУ за нульових початкових умов, а за критерій оцінки працездатності системи - інтегральний критерій мінімуму середньоквадратичної помилки між вихідними сигналами ОУ та його моделі:

$$J = \frac{1}{T_H} \int_0^{T_H} [\varepsilon(r, t)]^2 dt =$$

$$= \frac{1}{T_H} \int_0^{T_H} [Y_0(r_0, t) - Y_M(r_M, t)]^2 dt \Rightarrow \min.$$

У кінці кожного циклу вектор управляючих координат перебудовує вектор параметрів  $r_\mu$  таким чином, щоб інтегральна оцінка  $J(r_{\mu_{n+1}})$  була менша за оцінку, тобто щоб виконувалася нерівність

$$J(r_{\mu_{n+1}}) < J(r_{\mu_n}).$$

Робота системи закінчується тоді, коли розбіжність вихідних сигналів та моделей стає мінімальною:

$$[\varepsilon(r_\mu, t)]_n \Rightarrow \min.$$

Для того щоб мінімізація функціоналу  $J(r_{\mu_n})$  забезпечувала визначення усіх змінних параметрів  $r_\mu$ , останні повинні задовольняти

усім рівнянням  $\frac{\partial J(r)}{\partial r_\mu} = 0, (\mu = 0, 1, \dots, S)$ , кількість яких повинна

бути  $(S+1)$ , а також щоб ці рівняння були незалежні. Звідси випливають умови, щодо ідентифікованості НДП, які зводяться до того, що

$$\frac{\partial J(r)}{\partial r_{\mu}} \neq 0$$

за будь-яких  $r_{\mu} = \text{const}$ , які задовольняють умови стійкості, де

$$r_{\mu} > 0, \quad (\mu = 0, 1, 2, \dots, S).$$

Одержано рівняння руху системи в просторі. Одержана розв'язка задачі ІУС ідентифікації багатомірних НДП. Знайдені їх математичні моделі, структура та алгоритми функціонування.

Одержаний алгоритм оцінки станів НДП у параметричному просторі дозволив перейти до розв'язки задачі аналітичного конструювання системи аналізу станів та прийняття рішень. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили знайти аналітичні вирази, які описують структуру та алгоритм функціонування системи аналізу параметричного стану та прийняття рішень.

Показано, що система аналізу параметричного стану та прийняття рішень являє собою багатоконтурну адаптивну систему з параметричними зворотними зв'язками, що включає:

- систему параметричної ідентифікації;
- систему аналізу та обробки інформації;
- систему прийняття рішень.

Розв'язуючи задачу синтезу рекурентного алгоритму оцінки фазового стану НДП, знайдена математична модель та алгоритми функціонування системи оцінки фазових координат НДП, які подано у дискретній формі. При цьому припускалося, що початковий стан НДП являє векторну випадкову величину з кінцевим математичним очікуванням та відомою коваріаційною матрицею помилок вимірювань:

$$E[X_0] = \hat{X}_{0/0}; \quad \text{Cov}[\hat{X}_{0/0} - X_0](\hat{X}_{0/0} - X_0)^T = P_{0/0}.$$

Зроблені припущення дозволяють вважати помилки вимірювань незалежними при довільному часовому інтервалі між двома послідовними спостереженнями.

Враховуючи обмеження, що накладаються на обсяг пам'яті ЕОМ та складність процедури обернення матриць високих порядків, математична модель та алгоритм функціонування системи оцінки фазових координат знайдені з урахуванням прогнозування в рекурентній формі

$$\hat{X}_{k+1/k+1} = \hat{X}_{k+1/k} + K_{k+1}(Y_{k+1} - H_{k+1}\hat{X}_{k+1/k}),$$

$$P_{k+1/k+1} = (I - K_{k+1}H_{k+1})P_{k+1/k},$$

$$\hat{X}_{k+1/k} = \Phi_{k+1,k}\hat{X}_{k/k} + \Gamma_{k+1,k}Z_k + G_{k+1,k}\theta_k,$$

$$P_{k+1/k} = \Phi_{k+1,k}P_{k/k}\Phi_{k+1,k}^T + \Gamma_{k+1,k}Q_k\Gamma_{k+1,k}^T + G_{k+1,k}\theta_k G_{k+1,k}^T,$$

$$K_{k+1} = P_{k+1/k}H_{k+1}^T(H_{k+1}P_{k+1/k}H_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1},$$

згідно з яким оцінка вектора фазового стану на (k+1)-му кроці, будується з використанням тільки тієї інформації, яку маємо після k-го кроку вирішення.

Одержаний алгоритм зручний для реалізації на ЕОМ, оскільки під час його використання в k-й момент не потрібно запам'ятовування цієї зафіксованої раніш інформації і оберненню підлягають матриці невисоких порядків, що дорівнюють розмірності вектора вимірювання.

Особливістю одержаного алгоритму є те, що для початку рекурентної процедури обчислювання необхідні апріорні відомості про коваріаційні матриці шумів  $Q, \theta, R$  та початковий стан системи

$$X_{0/0}, P_{0/0}.$$

У випадку, якщо останні величини відсутні, то виконавши відповідне число вимірювань, їх можна обчислити.

Розв'язуючи задачу моделювання процесу оцінки фазового стану НДП на ЕОМ, в ролі моделі ОУ використовувалася підпрограма чисельного ітерування системи диференціальних рівнянь, якою описується поведінка НДП, наведених у векторно-матричній формі, а за потрібні вірогідні характеристики випадкових процесів  $V, W, f^0$  - вихідні сигнали генераторів випадкових чисел, помножені на відповідні поправочні коефіцієнти

$$V_i = \sigma_{V_i} N_{V_i}; \quad W = \sigma_w N_w; \quad f^0 = \sigma_{f_j^0} N_{f_j^0};$$

$$(i = 1, 2, 3), \quad j = (1, 2).$$

де  $N_{V_i}$  - гаусовські випадкові числа з одиничною дисперсією;

$\sigma_V, \sigma_W, \sigma_f$  - задані у випадку експерименту дисперсії

$$\sigma_{V_i} = \mu_1 \frac{X_{i0}}{3}; \quad \sigma_w = \mu_2 \frac{U_m}{3}; \quad \sigma_{f_i^0} = \frac{m_{i0}}{3},$$

$\mu_1, \mu_2, \mu_3$  - виражені у відносних одиницях довірчі обмеження відповідних випадкових процесів;

$X_{i0}$  - значення змінних стану НДП у початковий момент часу.

Діагональні елементи коваріаційних матриць обчислювалися формулами:

$$P_{0/0} = \text{diag}[(X_{10/3})^2, \dots, (X_{80/3})^2];$$

$$R = \text{diag}[\sigma_{V_1}^2, \sigma_{V_2}^2, \sigma_{V_3}^2]; \quad \theta = \text{diag}[\sigma_{f_1}^2, \sigma_{f_2}^2]; \quad Q = \sigma_w^2$$

Точність оцінки визначалась за характеристичним критерієм

$$V_k = \frac{\|X_{k/k} - X_k\|}{\|X_{0/0} - X_0\|}$$

У процесі проведення моделювання помилка оцінки розглядалася як функція багатьох змінних

$$\hat{X}_{k/k} = F[V, R, Q, \theta, P_{0/0}, U, \hat{X}_{0/0}, T, W, f^0, H]$$

Результати моделювання дозволили зробити основні висновки:

1. Точність оцінки вектора стану зростає, якщо одночасно зі збільшенням амплітуди шумів вимірювання збільшується значення коваріаційної матриці шумів.

2. Збіжність процесу оцінки фазового стану погіршується за умови занадто великих значень матриці  $R$ . З іншого боку, за умови занадто малих значень матриці  $P_{0/0}$ , оцінки можуть розбігатися через погану зумовленість матриці.

3. Значний вплив на збіжність оцінки за умови достатньо великих  $T$  здійснює точність обчислювання перехідної матриці стану об'єкта

$$\Phi_{k+1/k}$$

4. Точність оцінки вектора стану зростає зі збільшенням розмірності вектора виходу.

Встановлено, що оптимальне "навантаження" одержаного алгоритму системи фазової ідентифікації складає 2-3 невимірюваних на одну вимірювану фазову координату.

До числа конструктивних методів підвищення точності оцінки фазового стану можна віднести:

1. Використання достовірної інформації про коваріаційні матриці  $Q, \theta, R, P_{0/0}$ .

2. Зменшення інтервалу дискретності обробки вхідної та вихідної інформації про об'єкт.

3. Зменшення числа оцінюваних координат на одну вимірювану координату.

4. Підвищення точності обчислювання перехідної матриці стану та вимірювання вхідних та вихідних сигналів.

Четвертий розділ присвячений розв'язанню задач синтезу системи оцінки однієї з головних динамічних характеристик НДП - перехідної матриці стану.

Розглядаючи розв'язання задачі оцінки перехідної матриці стану як ітераційний процес, знаходження останнього шукається у класі стаціонарних систем. При цьому вважаються заданими: рівняння руху ОУ, вектор початкових умов, стан управління, початкове значення коефіцієнта під час управління.

Припускаючи квазістаціонарність ОУ на інтервалі  $nT_1 \leq t \leq (n+1)T_1$ , де  $T_1$  - деякий період дискретності оцінки елементів поширеної динамічної матриці, перехідна матриця стану шукається у вигляді:

$$\Phi(nT_1) = e^{A(nT_1)\tau};$$

$$A(nT_1) = A(0) + \sum_{n=1}^N \Delta A(nT_1);$$

$$\tau = N T_1,$$

де  $A(0)$  - початкове значення матриці;  $\Delta A$  - приріст матриці на протязі інтервалу квазістаціонарності;  $N$  - число ітерацій.

Показано, що перехідна матриця станів НДП визначається у вигляді ряду

$$\Phi(nT) = \sum_{\mu=0}^{m-1} \alpha_{\mu} [A(0) + \sum_{n=1}^N (\Delta A)_n]^{\mu},$$

коефіцієнти  $\alpha_{\mu}$  ( $\mu = 0, \dots, m-1$ ) якого знаходяться з системи лінійних управлінь у вигляді  $\alpha_{\mu} = D^{-1}[e^{\lambda_{\nu} \alpha}]$ , ( $\nu = 1, 2, \dots, n$ ), де  $D$ -приведена матриця коефіцієнтів розв'язку системи;  $\lambda_{\nu}$  - характеристичні числа матриці  $A(nT)$ , визначені з виразу

$$\lambda^{\nu} + c_{\nu-1} \lambda^{\nu-1} + \dots + c_1 \lambda + c_0 = 0,$$

коефіцієнти якого визначаються за алгоритмом

$$c_{\nu-1} = -s_1;$$

$$c_{\nu-2} = -\frac{1}{2}(c_{\nu-2}s_1 + s_2),$$

.....

$$c_0 = -\frac{1}{n}(c_1 s_1 + c_2 s_2 + \dots + c_{\nu} s_{\nu-1} + s_{\nu}),$$

де  $s_{\nu}$  - слід матриці  $A(nT)$ , складений на основі формул Бохера.

Одержаний алгоритм оцінки перехідної матриці стану лінійних НДП та проведені експериментальні дослідження працездатності алгоритму на об'єкті другого порядку.

Розв'язано задачу синтезу ІУС технологічного процесу грануляції, поведінка якого описується системою нестационарних диференційних рівнянь:

$$\ddot{\theta} = a_{\theta\theta}\dot{\theta} + a_{\theta\dot{\theta}}\dot{\theta} + a_{\theta s}S + \sum_{i=1}^2 a_{\theta r_i} r_i + \sum_{i=1}^2 a_{\theta \dot{r}_i} \dot{r}_i + c_{\theta},$$

$$\ddot{\rho} = a_{\rho\theta}\theta + a_{\rho\dot{\theta}}\dot{\theta} + a_{\rho s}S + \sum_{i=1}^2 a_{\rho r_i} r_i + \sum_{i=1}^2 a_{\rho \dot{r}_i} \dot{r}_i + P_{\rho},$$

$$r_1'' + E_{r_1} \dot{r}_1 + \omega_{r_1}^2 r_1 = b_1 \omega_1,$$

$$r_2'' + E_{r_2} \dot{r}_2 + \omega_{r_2}^2 r_2 = b_2 \omega_2,$$

$$\dot{s} = c \text{Sign} U_0(t - \tau),$$

де  $\theta, \dot{\theta}, \rho, \dot{\rho}$  - фазові координати, які регулюються;

$$\left. \begin{array}{l} a_{\theta r_i}, a_{\theta \dot{r}_i} \\ a_{\rho r_i}, a_{\rho \dot{r}_i} \end{array} \right\} - \text{внутрішні збурюючі дії};$$

$\omega_1, \omega_2$  - частота резонатора;

$a_{\theta s} S, a_{\rho s} S$  - управляючі дії;

$C_{\theta}, P_{\rho}$  - зовнішні збурюючі дії;

$a_{\nu i}, E_{r_i}, \omega_{r_i}^{2(j)}$  - змінні у часі коефіцієнти, які характеризують

нестационарність динамічного процесу;

$U_k$  - стратегія оптимального управління;

Користуючись методом динамічного програмування, знайдені стратегія та алгоритм функціонування інформаційно-управляючої системи технологічного процесу грануляції

$$U_k = -[K_\theta \theta_k + K'_\theta \dot{\theta}_k + K_\rho \rho_k + K'_\rho \dot{\rho}_k + \sum_{i=1}^2 k_{r_i} r_{i_k} + \sum_{t=1}^2 k_{r_t} r_{t_k} + K_c C_k + K_p P_{\rho k}],$$

яка на кожному ітеративному кроці генерує оптимальну управляючу послідовність при вибраному критерії якості  $I$ , на вибраному інтервалі стаціонарності  $nT \leq t \leq (n+1)T$ .

Для забезпечення оптимальної управляючої послідовності за межами квазістаціонарності по закінченні часу ітерації перебудовуються параметри управляючої частини системи з тим, щоб забезпечити стійкість та якість процесу, що управляється. Іншими словами, на кожній наступній ітерації функціонали якості

$$I_{\theta_k} = \min_{m_{\theta}} \sum_{k=1}^N [\theta_k^2 + \lambda_\theta U_{y\theta_k}^2];$$

$$I_{\rho_k} = \min_{m_{\rho}} \sum [\rho_k^2 + \lambda_\rho U_{y\rho_k}^2]$$

прагнуть до мінімуму, що забезпечує асимптотичну стійкість за Ляпуновим при належному виборі коефіцієнтів алгоритму управління.

Одержана у цій дисертаційній роботі система машинних алгоритмів дозволила автору розв'язати задачу побудови адаптивної інформаційно-управляючої системи, яка дозволяє зробити оцінки параметрів нестационарного динамічного процесу на внутрішній і зовнішній збуджуючий вплив, здійснити аналіз параметричного та

фазового станів процесу і на базі аналізу приймати рішення щодо зміни параметрів управляючої частини так, щоб управляючий вплив був більш ефективним.

Експериментальне дослідження одержаних алгоритмів функціонування системи на точність і працездатність, які були проведені на ЕОМ, підтвердили високу ефективність і якість процесу, який управляється.

### Основні результати праці і висновки

Проведені в дисертаційній роботі теоретичні і експериментальні дослідження присвячені структурному синтезові ІУС нестационарних динамічних об'єктів в параметричному і фазовому просторах, дозволяють зробити наступні висновки:

1. На базі вивчення і аналізу літературних джерел вітчизняних та зарубіжних авторів, присвячених розв'язанню задач побудови інформаційних систем НДП, сформульована і поставлена задача дослідження, що складається у створенні математичного і програмного забезпечення принципів і якісно нових інформаційно - управляючих систем, що реалізуються на основі застосування адаптації, ідентифікації, аналізу та прогнозування станів управління об'єкта в параметричному і фазовому просторах. Подана класифікація інформаційно-управляючих систем нестационарних динамічних процесів.

2. Синтезовано системи параметричної ідентифікації методом градієнта з моделлю, що підстроюється. Знайдені структура і алгоритм функціонування системи ідентифікації, нестационарних об'єктів управління в просторі параметрів, заданих параметричною передаточною функцією.

3. Було проведено синтез системи фазової ідентифікації методом Калмана. Знайдений рекурентний алгоритм функціонування системи, оцінки фазового стану стохастичних лінійних нестационарних об'єктів управління.
4. Виконано комп'ютерне моделювання процесу оцінки станів нестационарного об'єкта в фазовому просторі. Подані рекомендації для підвищення точності оцінки станів об'єкта управління в фазовому просторі.
5. Запропоновано узагальнюючий метод алгоритмічного синтезу системи параметричної і фазової ідентифікації з використанням підстроюваних моделей об'єкта вільного і вимушеного рухів.
6. Запропоновано метод структурного синтезу оцінки основної динамічної характеристики нестационарного об'єкта - перехідної матриці стану.
7. Синтезовано інформаційно-управляюча система нестационарного об'єкта з неповною інформацією про параметричний і фазовий стан.
8. Знайдені структура і алгоритм функціонування адаптивно-інформаційно-управляючої системи.

Основний зміст роботи відображений у наступних публікаціях

1. Новгородцев А.И. Алгоритмический синтез системы оценки состояния объекта управления в параметрическом и фазовом пространствах// Научн. журнал Вестник СумГУ, N 3, 1995, С.74-77.
2. Володченко Г.С., Новгородцев А.И., Полонский А.Д. Синтез оценки переходной матрицы состояний нестационарных объектов управления// Научн. журнал Вестник СумГУ, N 3, 1995, С.70-74.
3. Володченко Г.С., Новгородцев А.И., Полонский А.Д. Синтез алгоритма оценки фазового состояния динамического процесса одного класса// Научн.журнал Вестник СумГУ, N 5, 1996, С. 96-98.
4. А.С. 1370781 СССР. Счетчик импульсов.

А.И.Новгородцев, Г.В.Куно, А.А.Борисенко. 1987. Бюл.4.

5. Володченко Г.С., Новгородцев А.И., Полонский А.Д. Метод динамического программирования в задачах оптимизации управления

нестационарными объектами. Деп.рук. НИИТЭХИМ, N16-ХП 97.- 7 с.

6. Володченко Г.С., Новгородцев А.И., Дунаева Я.В. Применение алгоритма идентификации в задачах построения адаптивных систем управления. Деп.рук. НИИТЭХИМ, N18-ХП 97.- 7 с.

7. Володченко Г.С., Новгородцев А.И., Полонский А.Д. Моделирование на ЭВМ оптимальной стохастической системы управления. Деп.рук. НИИТЭХИМ, N 19-ХП 97.- 8 с.

8. Володченко Г.С., Новгородцев А.И., Дунаева Я.В. К вопросу оценки статистических характеристик возмущающих воздействий многомерных динамических систем. Деп.рук. НИИТЭХИМ, N<sup>o</sup> 16-ХП 97.- 7с.

Конкретна участь автора в здобутті наукових результатів

Дисертаційна праця є результатом проведених наукових і експериментальних досліджень, виконаних автором.

В працях, що написані в співавторстві особисто автором, розроблено:

математичні моделі систем параметричної і фазової ідентифікації;

системи оцінки перехідної матриці станів;

системи аналізу математичного і фазового станів та прийняття рішень;

системи адаптованої інформаційно-управляючої системи з елементами штучного інтелекту.

При цьому в основу розробки алгоритмів функціонування зазначених систем були покладені:

- методи математичного моделювання процесів в параметричному і фазовому просторах;

- градієнтний метод пошуку мінімізуючого функціоналу якості з моделлю, що підстроюється в параметричному і фазовому просторах, а також метод динамічного програмування, мінімізуючий суму квадратів відхилень поточних фазових координат.

#### Анотація

Новгородцев А.И. Структурний синтез і дослідження інформаційно-управляючих систем нестационарних динамічних процесів. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05/3.04 - АСУ та системи обробки інформації, Харківська державна академія міського господарства, Харків, 1997.

Захищається 13 наукових робіт, котрі містять результати досліджень і розв'язання задач структурного синтезу інформаційно-управляючих систем нестационарних динамічних процесів, які забезпечують високу якість функціонування системи в умовах початкової невизначеності, нестационарності і неповного вектора вимірювання фазових координат.

Наводяться методи алгоритмічного синтезу та побудови системи оцінки аналізу і прогнозування станів нестационарних динамічних процесів у параметричному і фазовому просторах, що працюють в реальному часі, а також практичні рекомендації щодо їх використання та застосування у промисловості.

Ключові слова: інформаційно-управляюча система, оптимізація, ідентифікація, адаптація, динамічна матриця, перехідна матриця, вектор станів, параметричний і фазовий простір.

## ABSTRACT

Novgorodsev A.I. Structured synthesis and investigation of information management systems for non-stationary dynamic processes.

Dissertation to competition of academic degree candidate of technical sciences by speciality 05.13.04 - automatic management systems and systems of information processing, Kharkov State Academy of Municipal Economy, Kharkov, 1997.

13 scientific papers are defended. They include the researched results and the solution of the problem on structured synthesis of information management systems for non-stationary dynamic processes supplying a high quality of system working at initial uncertainty, non-stationary and an incomplete status vector of measured coordinates.

The cited methods are following: the methods of algorithmic synthesis and development of estimation system, the ones of analysis and prognosis for states of non-stationary dynamic processes. In phase and parametric spaces, at real time, as well the instructions on practical using of the methods are proposed in the work.

Підписано до друку 22.04.97.

Тираж 100 пр.

Заказ N 114

