

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

На правах рукопису

РУДЕНКО Діана Олександрівна

**СИНТЕЗ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ
КВАЗІСТАЦІОНАРНИМИ СТОХАСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

05.13.03 - Системи і процеси керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків - 1996

AB 34.7at

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному технічному університеті радіоелектроніки.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент С.Г.Удовенко.

Офіційні опоненти:

- 1. Доктор технічних наук, професор О.Т.Тільчин.
- 2. Кандидат технічних наук, доцент С.Б.Шеховцов.

Провідна організація: Національний технічний університет, м. Київ.

Захист відбудеться 21 травня 1996 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 02.25.06 в Харківському державному технічному університеті радіоелектроніки за адресою: 310726, м.Харків, пр. Леніна, 14. fax: (0572) 40-91-13.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Автореферат розісланий 19 квітня 1996 р.

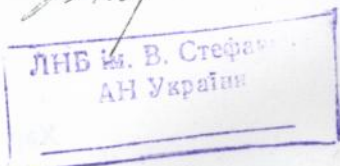
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Е.О.Дедіков

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00760246 (P)



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідженості дисертації.

Проблема керування динамічними процесами в умовах невизначеності щодо параметрів об'єкта є однією з центральних проблем сучасної теорії керування. Вирішення цієї проблеми пов'язано з розробкою дискретних адаптивних систем керування, яким завдяки значному поширенню мікропроцесорної техніки та методів чисельної реалізації дискретних алгоритмів останнім часом приділяється велика увага.

Ефективність синтезованих адаптивних дискретних регуляторів істотно залежить від особливостей керованого процесу та, відповідно, від методів, що покладено до принципових схем ідентифікації та оптимізації об'єктів керування.

Досі не існує цілком універсальних моделей та алгоритмів, відповідаючих будь-яким умовам функціонування стохастичних систем. Вибір конкретного типу регулятора пов'язаний з попереднім аналізом апріорної інформації щодо параметрів об'єктів. Важливою особливістю широкого класу реальних технологічних процесів є повільність зміни деяких характеристик, що дозволяє відокремити множину так званих квазістаціонарних стохастичних об'єктів. Це робить можливим використання специфічних механізмів адаптації, що діють набагато оперативніше і дають більш задовільні результати в порівнянні з класичними схемами керування суттєво нестационарними процесами. До таких механізмів можна віднести

рекурентні алгоритми байєсовської ідентифікації.

Відомі методи створення регуляторів з використанням байєсовських моделей базуються на визначенні керуючих послідовностей згідно з наслідками рекурентної корекції параметрів матриць, що задають модель системи. Найбільш доцільним здається реалізація такого підходу для синтезу контурів адаптивного керування квазістаціонарними стохастичними об'єктами. Досі залишаються недостатньо вирішеними деякі питання, пов'язані з цією проблемою. Це стосується, зокрема, задач визначення інтервалів квазістаціонарності процесів, багатократного квантування вимірюваних даних у межах кожного такту керування, формування слухного критерія пошуку оптимальних та субоптимальних стратегій керування, пошуку найбільш задовільної процедури корекції параметрів моделі та моделювання відповідних алгоритмів для реальних об'єктів.

Актуальність запропонованої роботи полягає в ретельному розгляді зазначених аспектів, що сприяє подальшому розвитку адаптивних систем керування квазістаціонарними стохастичними процесами з використанням принципів байєсовської ідентифікації.

Мета роботи та основні завдання наукового дослідження.

Метою роботи є розробка та дослідження моделей та алгоритмів керування стохастичними квазістаціонарними об'єктами з байєсовським оцінюванням параметрів.

Основні задачі наукового дослідження:

розробка моделі квазістаціонарного стохастичного процесу на засаді байєсовського оцінювання параметрів;

розробка процедури настроювання параметрів байєсовської моделі;

розробка субоптимальних алгоритмів керування квазістаціонарними об'єктами в контурі адаптивного регулятора;

синтез алгоритмів самонастроювання та керування для реальних об'єктів безперервної технології;

моделювання синтезованих алгоритмів та оцінка їх ефективності.

Теоретична і практична цінність дослідження та його наукова новина. Дослідження, що були здійснені в дисертаційній роботі, дозволили:

запропонувати досить універсальну модель квазістаціонарного стохастичного процесу;

розробити ефективні процедури корекції параметрів моделі в реальному часі;

запропонувати критерії та алгоритми пошуку субоптимальних стратегій керування визначеним класом об'єктів;

одержати комплекс програмних модулів для реалізації запропонованих методів;

підтвердити можливість та доцільність використання отриманих результатів для реальних технологічних комплексів.

Наукова новина запропонованої роботи полягає у вирішенні означених вище питань.

Рівень реалізації та впровадження наукових розробок.

Дисертаційну роботу виконано згідно з тематикою науково - дослідних робіт "Розробка нових принципів адаптивного керування технічними об'єктами в умовах апріорної невизначеності з урахуванням різного типу обмежень та ранньої діагностики несправностей" та "Розробка нових принципів адаптивного управління підвищеної швидкодії багатомірними технічними комплексами" (шифр 3).

Результати виконаних досліджень були використані при створенні програмного забезпечення автоматизованих систем керування технологічними процесами на підприємствах хімічної промисловості (зокрема, на Сумському виробничому об'єднанні "Хімпром"). Рекомендації по розробці та впровадженню запропонованих адаптивних регуляторів використовуються акціонерним товариством закритого типу Харківським дослідно - конструкторським бюро автоматики (АТ ЗТ ХДКБА).

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній школі "Проектування автоматизованих систем контролю та управління складними об'єктами" (м.Туапсе, 1992 р.); III Міжнародній науково - технічній конференції "Методи зображення та обробки видаєткових сигналів та полей" (м.Харків, 1993 р.); Міжнародній конференції "Теорія та техніка передачі, прийому та обробки інформації" (м.Туапсе, 1995 р.); науково - технічній конференції "Техніка та фізика електронних систем і пристроїв" (м.Суми, 1995 р.).

Публікації. По темі дисертації надруковано 6 робіт.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновку, містить 14 малюнків, 1 таблицю, список використаної літератури з 58 найменувань і 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 143 сторінки.

Особистий внесок у наукові результати, що виносяться на захист: Усі результати дисертаційної роботи отримано за безпосередньою участю автора. У працях, що виконано у співавторстві, дисертантові належить:

- 1) розробка алгоритмів та їх програмна реалізація;
- 2) розробка стохастичної моделі пошуку оптимальних керуючих послідовностей;
- 3) формалізація методів розв'язання задачі оптимізації стохастичної моделі;
- 4) розробка програмного модуля керування квазістаціонарним процесом;
- 5) розробка обчислювальних схем байєсовського оцінювання параметрів моделі;
- 6) розробка схеми багатократного вимірювання параметрів у реальному масштабі часу.

Методологія і метод дослідження предмету. До основи теоретичних досліджень покладено методи байєсовської ідентифікації та принципи побудови двохконтурних дискретних адаптивних регуляторів.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено стислу характеристику стану теоретичних та практичних розробок у досліджуваній проблемній галузі, обгрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, наведено дані про структуру роботи та цінність отриманих результатів.

У першому розділі проведено огляд і аналіз стану проблеми керування стохастичними процесами. Розглянуто доцільність використання байєсовських оцінок для вирішення задач адаптивного регулювання.

На підставі аналізу загальних положень байєсовської статистики були зроблені такі висновки:

для більшості реальних технічних об'єктів, що можуть бути описані за допомогою лінійних або лінійаризованих моделей, байєсовське оцінювання дозволяє здійснювати поточну ідентифікацію параметрів об'єктів керування;

необхідною умовою сумісного вирішення задач байєсовської ідентифікації та пошуку стратегій керування є можливість систематичної фіксації даних $D_{(t)} = \{u_{(t)}, y_{(t)}\}$, де $u_{(t)}$, $y_{(t)}$ - відповідно керуюча та вихідна послідовності, t - поточний дискретний час. Модель повинна враховувати збурюючу випадкову

послідовність $e(t)$ типу білого гаусовського шуму.

Сукупність сигналів $y(t)$ складається з безпосередньо регульованих виходів $y_p(t)$ та допоміжних вимірюваних виходів $y_B(t)$. Наявність допоміжних сигналів поширює можливості використання поточної інформації, тому, що їх наявність у моделі керованого об'єкту дозволяє під час ідентифікації більш ретельно враховувати існуючі звороти та попереджувачі зв'язки вимірюваних сигналів системи.

В роботі використано наступні позначення множини сигналів $x(t)$, залежних від часу:

$$\bar{x}_{(i)}^{(j)} = \{x_{(i)}^{(j-1)}, x_{(j)}\} = \{x_{(i)}, x_{(i+1)}, \dots, x_{(j-1)}, x_{(j)}\}, \\ i \leq j, \quad x_{(i)}^{(j)} = x_{(i)}^{(j)},$$

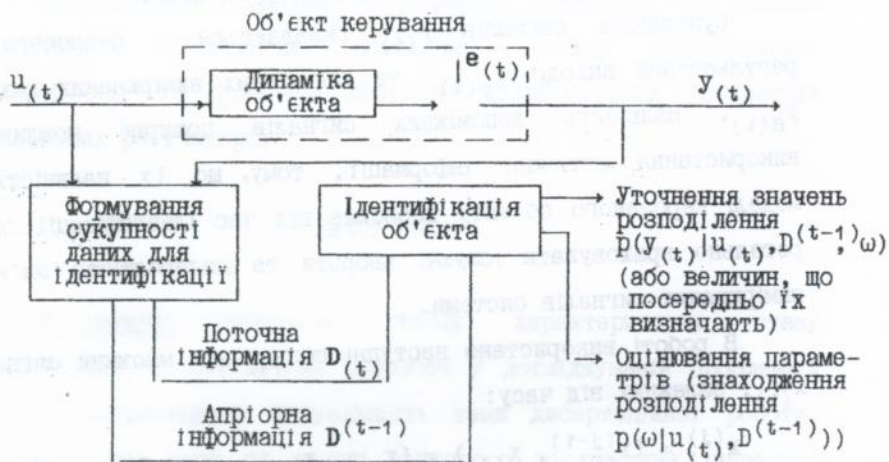
де $x_{(i)}^{(j)}$ означає $u_{(i)}^{(j)}$, $y_{(i)}^{(j)}$ або $D_{(i)}^{(j)}$.

Процедура поточної ідентифікації стохастичної системи з використанням байєсовського оцінювання полягає у реалізації наступних етапів:

1) вибір структури моделі, що обсягає фіксовану сукупність параметрів ω та умовні розподілення ймовірностей $p(y(t)|u(t), D^{(t-1)}, \omega)$, де ω - невизначена частина параметрів;

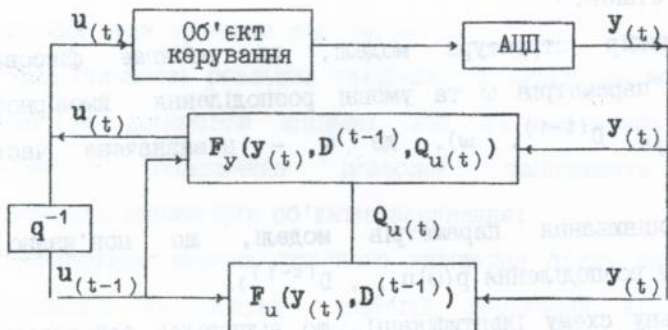
2) оцінювання параметрів моделі, що пов'язано з знаходженням розподілення $p(\omega|u(t), D^{(t-1)})$.

Загальну схему ідентифікації, що відповідає байєсовському підходу, наведено на мал.1.



Мал.1. Загальна схема ідентифікації, що відповідає байєсовському підходу.

Байєсовський ідентифікатор доцільно використовувати у складі двохконтурного дискретного регулятора, структуру якого наведено на мал.2.



Мал.2. Структура адаптивного регулятора.

Тут співвідношення типу $Q_u(t) = F_u(y(t), D^{(t-1)})$ визначають

алгоритм самонастроювання, а $u(t) = F_y(y(t), y(t_0), Q_u(t))$ - алгоритм керування.

В розділі визначено клас досліджуваних об'єктів керування - квазістаціонарні стохастичні процеси, а також конкретизовано умову квазістаціонарності.

У другому розділі на підставі аналізу різних типів байєсовських моделей показано, що для квазістаціонарних об'єктів найбільш задовільною є багатовимірна модель наступного вигляду:

$$y(t) = P^T z(t) + e(t),$$

де $e(t)$ - дискретний білий шум з коваріційною матрицею R;

$$P^T = [B_0^T, A_1^T, B_1^T, \dots, A_n^T, B_n^T, c];$$

$$z(t) = [u(t), x(t-1)];$$

$$x(t-1) = [y(t-1), u(t-1), \dots, y(t-n), u(t-n), 1];$$

A, B - коефіцієнти матриці параметрів P^T ; вектор c - абсолютний член прийнятого лінійного перетворення; n - порядок моделі.

Параметри цієї моделі посередньо зв'язані з умовними ймовірностями $p(y(t) | D^{(t-1)}, u(t))$, що дозволяють визначити стратегію вибору керуючої послідовності.

Показано, що процедура стохастичної лінійної трансформації має певний недолік в порівнянні з розглянутим підходом, а саме, велике число параметрів, що треба оцінювати в реальному масштабі часу.

Байєсовські моделі особливо ефективні в випадках, коли

щільність розподілення завад і апіорна щільність розподілення оцінюваних параметрів підпорядковуються нормальному закону розподілення або близькі до нього. Але в ряді практичних випадків довільна щільність розподілення може бути апроксимована нормальною щільністю. В розділі запропоновано процедуру апроксимації апіорної щільності розподілення ймовірності випадкових величин нормальною щільністю розподілення.

В третьому розділі проведено аналіз основних залежностей байєсовського оцінювання параметрів багатовимірної моделі. Мета ідентифікації полягає в визначенні параметрів матриці P по даним, що вимірюються у системі.

На підставі застосування основних операцій байєсовського підходу розглянуто можливість рекурентного уточнення закону розподілення шуканих щільностей імовірності, та, отже, параметрів моделі.

Використання теорем про властивості матриці P дозволило шляхом вводу проміжних матриц спеціального виду одержати залежності, що визначають процес поточної ідентифікації параметрів.

В розділі розглянуто також метод обробки вимірювань для їх використання в контурах регулятора. Запропонований алгоритм перебдачає лінійну апроксимацію безперервного вихідного сигналу в кожному такті керування. Доведено доцільність використання для остаточного визначення $y(t)$ рівняння наступного вигляду:

$$y(t) = f_1 \sum_{i=1}^{\mu} 1 y_i(t) + f_2 \sum_{i=1}^{\mu} y_i(t),$$

де μ - кількість вимірювань в кожному такті керування;

$y_i(t)$ - i -те вимірювання для t -го такту;

$$f_1 = \frac{6}{\mu(\mu+1)}; \quad f_2 = -2/\mu.$$

Розглянутий підхід дозволяє зменшити вплив небажаних шумів на якість регулювання завдяки багатократним вимірюванням.

Для врахування ефекту старіння даних, що акумульовані в узагальненій матриці, в процедурі ідентифікації використано коефіцієнт дисконтування, значення якого відповідають діапазону $0 < \varphi^2(t) \leq 1$. Для його вибору запропоновано два припустимих способи.

Внаслідок поганій обумовленості інформаційної матриці використовуються процедури кореневої фільтрації. Суть цієї процедури полягає у визначенні кореня матриці, який становить собою трикутну матрицю з найменшою кількістю ненульових елементів. Призначення замість інформаційної матриці такого кореня гарантує зберігання її позитивної визначенності, що є суттєвим для алгоритму ідентифікації.

В четвертому розділі розглянуто проблему синтезу алгоритмів керування з байесовським оцінюванням параметрів.

Критерієм управління прийнято:

$$\Psi = \frac{1}{N} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+N} \left\{ \min_{u(t)} M \left[x_{(t)}^T (Q_{(t)} + S_{(t+1)}) x_{(t)} \mid y^{(t-1)}, u^{(t)} \right] \right\},$$

де $Q_{(t)}$ - матриця вагових коефіцієнтів;

$S_{(t+1)}$ - позитивно полувизначена матриця;

$M[\cdot]$ - символ математичного очікування;

N - горизонт керування.

Показано, що така задача полягає в отриманні послідовності $u_{(t)}$, для якої

$$\Psi_{(t)} = \min_{u_{(t)}} [u_{(t)} \quad x_{(t)}] \begin{bmatrix} F_u^T & 0 \\ F_{xu}^T & F_x^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_u & F_{ux} \\ 0 & F_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{(t)} \\ x_{(t)} \end{bmatrix},$$

де F_x , F_u , F_{xu} - підматриці визначеного виду. Мінімум критерію досягається правильним вибором $u_{(t)}$:

$$u_{(t)} = - (F_u^T)^{-1} F_{xu}^T x_{(t)} = -L^T x_{(t)},$$

де матриця L визначає управляючий закон для часу t .

В розділі визначено такі можливі субоптимальні стратегії керування квазістаціонарними об'єктами, як стратегія зі змінним горизонтом і стратегія з ітераціями, що розподілені по інтервалах часу.

Доведено, що для обережної стратегії доцільно доповнити ядро квадратичної форми керування функцією

$$q_{(t)} = \text{tr} [(Q_{(t)} + S_{(t+1)}) I^* R_{(t)} I^{*T}],$$

де I^* - матриця спеціального вигляду, має лише нульові та одиничні елементи;

$\text{tr}[\cdot]$ - символ стопи матриці.

В розділі розглянуто також питання вибору початкових значень параметрів настроювання регулятора, таких, як $P_{(0)}$, $R_{(0)}$, $\varphi_{(0)}^2$, $Q_{(0)}$, $S_{(0)}$, та можливі наслідки введення обмежень на керуючу послідовність.

У п'ятому розділі проілюстровано реалізацію адаптивного керування з байєсовським ідентифікатором на прикладі квазістаціонарних об'єктів хімічної технології. Як об'єкти адаптивного керування розглянуто процеси вакуум - випарки титанілсульфата та випалювання фосфатів. Аналіз процесів за допомогою методики, що викладена у роботі, показав їх квазістаціонарність. Приведено рекомендації для вибору початкових параметрів і вагових коефіцієнтів моделі та функціонала. Здійснено деталізацію алгоритмів керування дослідженими об'єктами з використанням байєсовських моделей. Порівняння процедур рекурентного методу найменших квадратів і розроблених алгоритмів підтвердило ефективність запропонованого підходу. В розділі приведено схему взаємодії програмних модулів управління квазістаціонарними процесами, що реалізовані за допомогою TurboPascal- середовища.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих методів ідентифікації та керування для об'єктів із параметрами, що повільно змінюються.
2. Розглянуто принципи байєсовського оцінювання параметрів моделі об'єкта.
3. Показано можливість та доцільність використання

байєсовських оцінок у двохконтурної схемі цифрового регулювання.

4. Запропоновано байєсовську модель квазістаціонарного об'єкта безперервної технології.

5. Розглянуто рекурентні процедури адаптивного підстроювання параметрів моделі в реальному масштабі часу.

6. Синтезовано алгоритми керування квазістаціонарними об'єктами з використанням різних стратегій.

7. Проведено експериментальне дослідження запропонованої схеми адаптивного регулювання для одновимірних і багатовимірних хіміко-технологічних об'єктів, зокрема, для процесів вакуум-випарки титанілсульфата та випалювання фосфатів, що підтверджує ефективність синтезованих регуляторів.

Основний зміст дисертації опубліковано у таких роботах:

1. Субоптимальное управление многомерными стохастическими объектами / Руденко Д.А., Удовенко С.Г. Деп. в ІНТБ України 02.06.95. N 1432-Ук 95.

2. Борисенко В.П., Руденко Д.А., Тянянский С.С. Структурно - функциональное моделирование в задачах разработки интегрированной системы САПР/АС ТПП // Тезисы докладов Международной школы "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами", Туапсе, 1995. - С.19.

3. Кобзев И. В., Руденко Д. А., Удовенко С. Г. Принципы построения, состав и структура интеллектуальной интерактивной системы имитационного сетевого моделирования // Тезисы

докладов Международной школы "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами", Туапсе, 1992. - С.17.

4. Руденко Д.А., Удовенко С.Г. Алгоритм адаптивного управления квазистационарными технологическими процессами // Тезисы докладов научно - технической конференции "Техника и физика электронных систем и устройств", Сумы, 1995. С.27.

5. Руденко Д.А., Удовенко С.Г. Оптимизация стохастических объектов с байесовской оценкой параметров модели // Международная конференция "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". Тезисы докладов. Туапсе, 1995. - С.268.

6. Руденко Д.А., Удовенко С.Г., Шаповалов А.Л. Статистический анализ погрешности моделирования сложных систем // III Международная научно - техническая конференция "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей". Тезисы докладов. Харьков, 1993. - С.17.

АНОТАЦІЇ

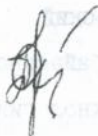
Руденко Д.А. Синтез алгоритмов адаптивного управления квазистационарными стохастическими процессами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 - Системы и процессы управления. Харьковский государственный технический университет радиозлектроники, 1996. Предложена байесовская модель квазистационарного объекта непрерывной технологии. Предложены рекуррентные процедуры адаптивной подстройки параметров модели

ЛНБ ім. В. Стефанива
АН України

в реальном масштабе времени. Синтезированы алгоритмы управления квазистационарными объектами с использованием осторожной и доверительной стратегий. Проведено экспериментальное исследование предложенной схемы адаптивного регулирования для одномерных и многомерных химико-технологических объектов, подтвердившее эффективность синтезированных регуляторов.

Rudenko D.A. Algorithms synthesis of adaptive control for quasistationary stochastic processes. A thesis for the scientific degree of candidate of sciences in technology, speciality code 05.13.03 - systems and processing control. Kharkov State Technical University of Radioelectronics. Kharkov, 1996. The bayesian model of quasistationary object of continuous technology is proposed. Recurrent procedures of model parameters adaptive tuning in real-time are proposed. Algorithms of quasistationary objects control with use of cautious and trust strategy are synthetized. The experimental research of proposed scheme of adaptive control for chemical technology objects, which confirmed the effectiveness of synthetized regulators, is carry out.

Ключові слова: адаптивне керування, байєсовське оцінювання параметрів, квазістаціонарний об'єкт, стохастичний процес.



РУДЕНКО Діана Олександрівна

СИНТЕЗ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ
КВАЗІСТАЦІОНАРНИМИ СТОХАСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск Е.О.Дедіков

444682

AB 34.727

AB 34.727