Національна академія наук України
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова

На правах рукопису

ЯЦЕНКО Віталій Олексійович

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ БІЛІНІЙНИМИ ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

05.13.01 — системний аналіз і теорія оптимальних рішень

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Київ 1996

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ГАЙСЬКИЙ В. О.,

доктор технічних наук, професор
ДАНИЛОВ В. Я.,

доктор фізико-математичних наук,
професор МЕЛЬНИК В. С.

Провідна організація: Київський університет
ім. Т. Шевченка.

Захист відбудеться «6» червня 1996 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.39.03 при Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України за адресою:

252022 Київ 22, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічному архіві інституту.

Автореферат розісланий «24» квітня 1996 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради ЯКОВЛЄВ О. С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Одним з головних питань сучасної кібернетики є розробка нелінійної теорії керування динамічними процесами. На сьогодні ця надзадача далека від завершення і розділена на декілька чітко визначених напрямів. Одним з них є теорія нелінійних систем, що приводяться до білінійного вигляду. Ця теорія спрямована на розв'язання задач аналізу нелінійних процесів з наступним синтезом систем керування (СК) зі зворотним зв'язком. Ефективність такої теорії істотно залежить від того, наскільки широкий клас нелінійних явищ може бути досліджено в рамках даної теорії. Тому нелінійні системи, що приводяться до білінійного вигляду, посідають особливе місце в теорії керування і математичній теорії систем. Є досить широкий клас фізичних процесів з локально білінійною поведінкою, які необхідно вивчати з позицій глобального аналізу системних властивостей. Отже, проблема побудови білінійної системної теорії, орієнтованої на цей клас нелінійних явищ, є актуальною. Накопичений досвід в теорії керування, а також в інших галузях науки (теоретична фізика, синергетика, механіка) показав, що в багатьох аспектах в основі динаміки нелінійних процесів лежить білінійна поведінка. На цю особливість неодноразово вказували акад. РАН Красовський О.А., акад. НАНУ Кухтенко О.І., чл.-кор. НАНУ Самойленко Ю.І., проф. Бутковський А.Г, Brockett R.W., Hermann R. та ряд інших вчених. В "фізичній" теорії керування також часто виникають задачі дослідження процесів білінійного типу. З концептуальної точки зору перспектива розвитку новітніх технологій на базі керованих мікропроцесів була намічена в доповіді Р. Фейнмана на засіданні американського фізичного товариства в 1972 р.

Слід зазначити і наявність прикладних проблем, для вирішення яких необхідно використання нових методів. Так, на сьогодні актуальною є проблема створення принципово нових аналітичних пристроїв на основі широкого використання закономірностей перетворення інформації динамічними системами, зокрема, нелінійних просторово розподілених динамічних систем з періодичною структурою. З'ясувалось, що в багатьох випадках достатньо використовувати білінійні системні властивості фізичних процесів.

В цілому, незважаючи на значні досягнення, багато актуальних задач керування нелінійними системами залишаються нерозв'язаними (хаотична динаміка систем керування і зворотним зв'язком) або дослідженими недостатньо (оптимальне керування та ідентифікація білінійних систем). Більш того, існує значний розрив між існуючими теоретичними досягненнями і можливостями їх практичного застосування. Тому нелінійні системи, що приводяться до білінійного вигляду, являють собою клас систем, на прикладі яких може бути вирішена ця проблема і побудовані конструктивні алгоритми керування, що задовольняють вимогам фізичної реалізації.

Завершуючи цей підрозділ зауважимо, що у розв'язанні проблеми керування білінійними системами вагомий внесок зробили А.Г. Бутковський, Ю.І. Самойленко, Ю. Котта, С.В. Ємельянов, W. Brockett, W. Brandenbusch, W.M. Boothby, P.E. Crouch, R.M. Hirshorn , A. Isidory, A.J. Krener A.J., J. Kučera, R.R. Mohler.

Мета роботи. Головна мета полягає у тому, щоб на основі системно-теоретичного опису відкритих фізичних процесів та подальшого розвитку теорії білінійної реалізації розробити загальний підхід до синтезу систем ідентифікації, оцінювання та керування, орієнтованих на використання в динамічних системах перетворення інформації, адаптивних сенсорах та прецизійних приладах.

Основні задачі дослідження. Поставлена проблема є принципово новою і породжує такі самостійні задачі:

1. Розробка системно-теоретичних моделей керованих фізичних процесів та побудова нелінійних та білінійних реалізацій у вигляді систем типу "вхід-стан-вихід".

2. Подальший розвиток теорії білінійної реалізації нелінійних моделей відкритих фізичних систем.

3. Подання розв'язків задач ідентифікації, оцінювання та керування білінійними процесами стосовно класичних, квантових та біомолекулярних систем. Дослідження білінійних систем зі зворотним зв'язком.

4. Дослідження нелінійних та білінійних моделей фізичних процесів із застосуванням теорії розшарувань і комутативних діаграм, пов'язаних з многовидами.

5. Розвиток білінійних методів дослідження нелінійних ланцюгів, систем керування рухом, технологічних процесів та систем обробки сигналів.

6. Встановлення нових закономірностей реалізації динамічних систем перетворення інформації за принципами нелінійної та білінійної динаміки коливних та хвильових процесів у фізичних та біологічних системах.

7. Розробка нових методів та адаптивних сенсорів для оптимального вимірювання слабких збурень фізичних полів за умов неповної інформаційної визначеності та нестаціонарності шумових впливів.

8. Дослідження динаміки деяких молекулярних систем та процесів керування ними для створення нових чутливих елементів сенсорів на базі сучасних технологій.

9. Розв'язок деяких нелінійних задач фільтрації та оптимального керування динамічними системами за допомогою методів теорії солітонів.

10. Дослідження явищ самоорганізації та хаосу в керованих динамічних системах обробки інформації, а також в розподілених адаптивних обчислювальних середовищах та активних багатокомпонентних динамічних системах з електромагнітною взаємодією.

11. Створення нових методів побудови когнитивно-інформаційної підтримки для постановки та вирішень нових наукових проблем, пов'язаних з дослідженням нелінійних і білінійних керованих процесів.

Наукова новизна і основні положення, що виносяться на захист:

досліджено та впроваджено нові системно-теоретичні моделі нелінійних фізичних процесів (комутативні діаграми, моделі на основі головних та дотичних розшарувань, білінійні системи загального вигляду). Розвинуто теорію реалізації динамічних систем, які описано диференціальними рівняннями з "зовнішніми" змінними. Розроблено методи моделювання заданих відображень "вхід-вихід" системами типу "вхід-стан-вихід". Побудовано білінійні реалізації лінійних за керуванням моделей фізичних систем;

розроблено нові методи ідентифікації та керування нелінійними фізичними процесами, моделі яких приводяться до білінійного вигляду. Розвинуто теорію адаптивного оцінювання параметрів майже періодичних сигналів за дискретними або неперервними білінійними спостереженнями. Досліджено широкий клас білінійних процесів у фізичних системах та методи керування ними на мікрорівні;

запропоновано "солітонний" підхід до розв'язування деяких задач керування фізичними системами, що приводяться до білінійного вигляду. Досліджено нову інтегральну форму завдання оптимального фільтра за допомогою рівняння Гельфанда – Левітана – Марченка. Побудовано моделі солітонних функціональних елементів та пристроїв;

вперше розроблено методи реалізації динамічних систем перетворення інформації (СПІ). Створено системно-теоретичні моделі для аналізу керованих класичних та квантових СПІ. Розроблено нові методи ідентифікації прихованих структур у динамічних системах з симетріями. Знайдено умови мінімальної реалізації клітинкових гамільтонових та квантових автоматів. Запропоновано нові принципи побудови СПІ на елементах, що реконфігуруються;

запропоновано та досліджено методологію чисельного моделювання та ідентифікації нелінійних динамічних систем за часовими рядами. Експериментально вирішено питання виникнення впорядкованих структур з хаосу при розсіюванні електромагнітних хвиль на поверхні моря. Новизна підходу - в провідній ролі комбінаційних та резонансних ефектів у розвитку просторово-часової еволюції процесів розсіювання електромагнітних хвиль з певними параметрами.

вперше розроблено методи побудови адаптивних сенсорів, моделі керованих чутливих елементів, методи розпізнавання зовнішніх впливів, принципи вимірювання слабких збурень гравітаційних та електромагнітних полів, методи фільтрації слабких сигналів. Запропоновано та досліджено новий клас адаптивних сенсорів для оцінювання екологічного стану води.

Практична цінність результатів. З самого початку робота мала практичне спрямування і конкретну мету – запропонованими методами розробити нові типи функціональних пристроїв, адаптивні високочутливі елементи сенсорів, орієнтованих на їх наступне використання в системах екологічного моніторингу водних середовищ, на проведення океанологічних досліджень, а також на використання в нанотехнологіях, у фізичних експериментах, у вимірюванні тонкої структури спектру електромагнітного випромінювання біосистем, та в радіолокації морської поверхні.

Запропоновано спосіб керування процесом вимірювання забруднень води з урахуванням динаміки біореєстраторів на фотореакційних центрах. Створено не тільки необхідний для прикладних розробок метод, але і з його допомогою в рамках прикладних тем створено програмне забезпечення для синтезу керувань положенням рівноваги плазми та адаптивної обробки діагностичних сигналів.

Ці результати використано в Національному агенстві морських досліджень і технологій, Харківському фізико-технічному інституті НАН України, Відділенні фізики біологічних систем Інституту фізики НАН України. В НВО "Квант" і "Азимут" впроваджено окремі методичні розробки, алгоритми та програми обробки сигналів.

З урахуванням стохастичності досліджуваних процесів побудовано математичні моделі молекулярних елементів та пристроїв для переробки і збереження інформації, квантових клітинкових автоматів.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використовувались методи теорії білінійних систем, теоретичної і експериментальної фізики, диференційної геометрії, математичної теорії систем. При дослідженні моделей молекулярних систем використано методи керування процесами на мікрорівні, динамічного хаосу та самоорганізації.

Наведені в роботі результати досліджень одержані під час виконання конкурсних проектів ДФФД і ДКНТП "Реалізація обчислювальних технологій на принципах нелінійної динаміки коливних та хвильових процесів у фізичних та біологічних системах" (1.7,1993р.), "Розробка наукових основ динаміки взаємодії кофакторів та дослідження процесів керування транспортом зарядів у каналах біомембран" (5.3/321,1994р. - керівник проекту), "Дослідження динаміки молекулярних систем та процесів керування ними з метою створення принципово нових пристроїв обчислювальної техніки на основі сучасних технологій" ((1.2).3.133,1994р. - керівник проекту), "Керування процесами на мікрорівні і фізичні моделі самоорганізації нейроподібних структур" (2.2/114,1993р.), "Система когнитивно-інформаційної підтримки постановки та рішень нових наукових проблем" (1(2).3.124,1994р.), "Створення елементної бази молекулярної електроніки", та опрацювання завдань з прикладної тематики у різноманітних програмах. У 1995 р. робота щодо синтезу багатофункціональних біосенсорів включена до Національної програми дослідження і використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану на період до 2000 року (розділ "Розробка гідрохімічних датчиків на основі мікросистемних технологій" проекту "Морське приладобудування", держконтракт N6.9/10 з Національним агенством морських досліджень і технологій").

Апробація роботи. Основні результати досліджень пройшли апробацію у провідних наукових колективах України, Росії, Данії, Англії, Німеччини, Італії та Японії, доповідались на 15 міжнародних конференціях, зокрема, на Європейській конференції "Euroanalysis VIII" (Едінбург,1993), Європейській конференції по оптохімічним сенсорам і біосенсорам (Флоренція, 1994), симпозіумі ІФАК по ідентифікації систем (Копенгаген,1994), Інституті теоретичної фізики ім. Н. Бора (Копенгаген, 1994), робочій школі "Квантові комунікації і вимірювання" (Нотінгем, 1994), III міжнародному симпозиумі по теоретичній електротехніці (Москва, 1985), VII конференції "Комплексний аналіз і диференціальні рівняння" (Чорноголовка, 1989), на загальноміському семінарі в ІПК РАН (Москва, 1990), Інституті математики НАНУ (Київ, 1993), Інституті теоретичної фізики АН України (Київ, 1989), вченій раді при Інституті кібернетики АН України (Київ, 1992), на Всесоюзній конференції "Системний аналіз і моделювання" (Новосибірськ, 1985), Всесоюзній школі "Динамічні системи і турбулентність" (Кацивелі, 1988), Першій українсько-американській школі "Диференціальні рівняння та їх застосування" (Судак, 1993), на Першій та Другій Українських конференціях з автоматичного керування (Київ, 1994, Львів, 1995).

Публікації. Основні результати досліджень, представлені в дисертації, опубліковані в 55 роботах і працях конференцій.

Структура і об'єм дисертації. Робота складається із вступу, 6 глав, висновку і вміщує 296 сторінок основного тексту, 52 малюнки, 3 таблиці і список літератури з 348 найменувань. Загальний об'єм роботи – 368 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано поставлені задачі, сформульовано мету роботи і показано її актуальність. Наведено огляд літератури та результати її аналізу.

В першій главі викладено математичні методи приведення моделей фізичних систем до спрощеного вигляду і алгоритми ідентифікації білінійних апроксимацій. Описано достатні умови локальної і глобальної еквівалентності нелінійних та білінійних систем (БС), запропоновано алгоритми ідентифікації білінійних моделей чутливих елементів адаптивних сенсорів. Побудовано логіко-динамічну білінійну реалізацію нелінійної системи, засновану на групових властивостях матричних білінійних систем. Показано, що ефективність використання БС обумовлена можливістю одобування строгих математичних розв'язків основних задач аналізу і синтезу СК. Значне місце в них приділено теорії груп і алгебр Лі. Одержано умови локальної еквівалентності систем рівнянь

$$\dot{x}(t) = f_0(x) + \sum_{i=1}^{k} f_i(x)u_i(t),\ x(0) = x_0, \tag{1}$$

$$\dot{Y}(t) = \left(A_0 + \sum_{i=1}^{k} u_i(t)A_i\right) Y(t),\ Y(0) = I, \tag{2}$$

де $x = (x_1, \ldots, x_n)$ - вектор стану; $f_0(x), \ldots, f_k(x)$ - довільні аналітичні вектор-функції; $u(t) = (u_1(t), \ldots, u_k(t)) \in \Omega; u(t)$ - обмежене вимірне керування, $Y(t)$ - матриця стану системи розміру $m \times m$; $A_0, \ldots, A_k$ - постійні $(m \times m)$ - матриці.

Детально досліджено систему квазілінійних рівнянь в частинних похідних першого порядку, якому задовольняє спрощуюче перетворення. Показано, що спрощуюче перетворення визначається властивостями ідеалу L алгебри $\widehat{L}$ векторних полів рівнянь характеристик. Запропоновано алгоритм побудови множини інтегралів ідеалу L, обіжного з множиною інваріантних функцій рівняння характеристик в певному околі регулярної точки. Наведено умови інтегровності, виходячи з геометрії контактних структур. Запропоновано алгоритм побудови спрощуючого перетворення.

Розроблено новий підхід до моделювання і ідентифікації біомолекулярних систем з кооперативними станами, орієнтованих на перетворення інформації. Особливість цього підходу полягає у відновленні параметрів фізичної системи за її вхід–вихідними властивостями. Запропонований підхід використано у вирішенні проблеми створення адаптивних чутливих елементів (ЧЕ) біомолекулярного типу. Досліджено вплив забруднень води на такі біологічні об'єкти, як фотосинтетичні системи. Показано можливість їх використання як регістратора забруднень в системах екологічного моніторінгу стану води.

Вперше запропоновано і досліджено метод розпізнавання забруднень води в функціональному просторі кривих індукції флуоресценції за допомогою нейросіток Больцманівського типу з ймовірностними нейронами. Для цього використані експериментальні результати дослідження еталонних зразків води (склад водної суміші був відомий до експерименту). Характеристики "деградації" ЧЕ коректувались алгоритмами білінійної ідентифікації і оптимальною зміною потенціалу на мембрані. Вказані методи забезпечують робастні властивості сенсора, надійність прогнозу оцінок незначних концентрацій забруднень води. Показано можливість здобуття більш точних оцінок при використанні на етапі навчання нейрочіпу результатів хроматографічного аналізу хімічного складу еталонних зразків води.

Вирішено проблему реалізації адаптивного біосенсора на основі ЧЕ плівкового типу, нейрочіпу, розташованого в вихідній частині сенсора, ідентифікатора БМ, включеного у ланцюг зворотного зв'язку. Запропоновано схему сенсора, що забезпечує адаптивний режим його функціонування.

В другому розділі розглянуто прикладну теорію аналізу і синтезу СК нелінійними процесами. Запропоновано методику інженерного проектування систем ідентифікації, оцінювання та керування процесами, описаними білінійними моделями. Методика потребує розв'язок наступних основних задач: а) побудова математичної моделі керованих процесів і оцінка її адекватності; б) перетворення моделі до динамічно еквівалентного вигляду і реалізація його на ПЕОМ; в) ідентифікація моделі нелінійних процесів; г) дослідження системних властивостей моделі (керованості, мінімальної реалізовності, оптимальності) з використанням чисельних і символьно-аналітичних методів; д) одержання розв'язків задач оцінювання, ідентифікації та керування; є) вибір варіанту інженерної реалізації системи керування.

Показано можливість її застосування для аналізу нелінійних ланцюгів, керування рухомим транспортом і створення СК технологічними процесами.

Встановлено, що, як і для лінійних систем, теорія мінімальних реалізацій пов'язана зі структурним аналізом простору станів. Його проведено на основі аналізу досяжності і неспостережуваності. Одержано канонічну форму рівнянь і умови декомпозиції БС. Встановлено умови існування мінімальних білінійних реалізацій. Досліджено реалізовність БС з одним входом і одним виходом у ненульовому стані.

Розглянуто задачу оптимального керування нелінійною системою, яка описується рівняннями

$$\dot{x}(t) = f_0(x) + F(x)u(t),\ u(t) \in \Omega,$$

$$z(t) = h(x) + Q(x)v(t),\ v(t) \in \Gamma, \tag{3}$$

$$z(t) \in R^r,\ x(t) \in R^n, t \in [0,T] = T \subset R_1,$$

де x - вектор стану; z - вихідний сигнал; $u(t)$ - вектор керувань; $v(t)$ - функція, яка описує дію перешкод на динамічну систему; $f_0(x), h(x)$ - функції класу C^∞ ; F і Q- матричні функції відповідних розмірностей. Керування $u(t)$ і перешкода $v(t)$ зображають собою m і q-мірні величини.

Нехай існують цілі числа $M_i, i = 0,\ldots,\hat{q}$ такі, що для $k = 1,\ldots,\hat{q}$ і для всіх $x(t), t \in T$ виконується умова

$$L^{M_0}h(x) = \sum_{i=0}^{M_0-1} A_0(0,0,i+1)L^ih(x) + \sum_{j=1}^{\hat{q}}\sum_{i=0}^{M_q-1} A_0(0,j,i+1)L^iQ_j(x),$$

$$L^{M_k}Q_k(x) = \sum_{i=0}^{M_0-1} A_0(k,0,i+1)L^ih(x) + \sum_{j=1}^{\hat{q}}\sum_{i=0}^{M_q-1} A_0(k,j,i+1)L^iQ_j(x),$$

де $L(g(x)) = g(x)_x f_0(x)$; $g(x)$ - довільна диференційована функція; $A_0(i,j,k)$ - постійна $(p \times p)$ матриця. Кожен стовпець матриць $(L^ih(x))_xF(x)$ і $(L^iQ_j(x))_xF(x), i = 0,\ldots,M_j-1, j = 1,\cdots,\hat{q}$ належить орбіті чутливості

$$S = \left\{h(x), Lh(x), L^2h(x),\ldots\right\} \cup \left\{\cup_{i=1}^{\hat{q}} Q_i(x), LQ_i(x), L^2Q_i(x),\cdots\right\}.$$

Для системи (3) задано критерій якості

$$\eta = \int_0^T \sum_{i,j=1}^{m} q_{ij}u_iu_j dt \tag{4}$$

де $\tilde{Q} = (q_{ij})$ - симетрична додатньо означена матриця.

Необхідно розв'язати задачу синтезу оптимальних керувань, які переводять динамічну систему із стану $x(0) = x_0$ в стан $x_1 = x(T)$ і забезпечують мінімізацію функціоналу якості (4).

Для рівняння (3) побудована локально еквівалентна БС

$$\dot{y}(t) = \left(A_0 + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right) y, \quad y(0) = y_0, \tag{5}$$

де $y = (y_1, \ldots, y_p)$ - вектор стану;$A_0, \ldots, A_m$ - постійні $p \times p$ - матриці; $u(t) = (u_1(t), \ldots, u_m(t))$ - обмежені вимірні керування.

На всьому фазовому просторі існує динамічно еквівалентна система

$$\dot{y}(t) = \left(A_0 + \sum_{i=1}^{m} A_i u_i(t)\right) y(t),$$

$$z(t) = \left(C + \sum_{j=1}^{q} D_j v_j(t)\right) y(t), \tag{6}$$

в якій A_0, A_i, C, D_j - постійні матриці відповідних розмірностей такі, що для деяких цілих $M_i, i = 0, \ldots, \hat{q}$ виконується умова спостережуваності БС.

Використовуючи білінійне представлення і методи теорії солітонів, одержано розв'язок задачі керування для системи

$$(d/dt)Y(t) = \left(A_0 + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right) Y(t), \tag{7}$$

де $A_0, A_1, \ldots, A_m$ - постійні $(p \times p)$ -матриці; $Y(t)$ - змінна $(p \times p)$ - матриця; $u(t) = (u_1(t), \ldots, u_m(t))$ - керування, що представляє собою вимірну функцію, яке належить множині допустимих вхідних впливів Ω. Нехай $g = \{A_0, A_1, \ldots, A_m\}_{LA}$ - алгебра Лі, побудована по матрицям $A_0, A_1, \ldots, A_m; G = \{exp\{A_0, \ldots, A_m\}_{LA}\}_G$ - її група Лі. Стосовно системи (7) знайдено керування, що належить Ω і переводить (7) із $I \in G$ в $Y_1 \in G$ за час T і забезпечує мінімум функціоналу (4).

Нехай $\{A_1, \ldots, A_m\}$ - базис $g, A_0 \in g$, тоді справедлива наступна теорема.

Теорема 1. Нехай R - невироджена матриця, симетрична або кососиметрична, так що $R^2 = \pm I, g = \{C \in gl(n, R) : C^t R + RC = 0\}; Y_1 \in G = \{expg\}_G, T > 0$. Тоді існує матриця оптимального керування

$$U^0(t) = \sum_{i=1}^{m} u_i^0(t) A_i, \tag{8}$$

яка вадовільнює рівнянню

$$\dot{M} = [M, \Omega], \qquad (9)$$

де

$$\Omega = A^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t, \quad M = \tilde{Q}\left(\sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right). \qquad (10)$$

Нехай $A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t \in \tilde{g}$, де $\tilde{g}$ - алгебра дійсних кососиметричних $(n \times n)$-матриць в овичайною операцією комутування; $S : \tilde{g} \to \tilde{g}$ - лінійний оператор, такий, що

$$S\left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right) = \tilde{Q}\left(\sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right). \qquad (11)$$

При цих припущеннях справедливо рівняння Эйлера-Арнольда

$$d/dt\left(\tilde{Q}\left(\sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right)\right) = [\tilde{Q}\left(\sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right), A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t]. \qquad (12)$$

Сліди ступенів $\tilde{Q}\left(\sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i\right)$ являються інтегралами руху, а рівняння (9) вображує гамільтонову систему на інваріантному многовиді. Якщо

$$S\left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right) = J\left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right) + \left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right) J, \qquad (13)$$

(J - симетрична додатньо вначена матриця), то

$$J d/dt\left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right) + \left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right) J = [J, \left(A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right)^2]$$

Згідно теореми Ліувілля, квадратичних інтегралів виду

$$C_z = \sum_{k=0}^{z} tr\left\{\left[A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right] J^k \left[A_0^t + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) A_i^t\right]^{z-k+1}\right\}$$

$$(0 \le z \le n-2;\ z \ne 1)$$

достатньо для доведення повної інтегрованості рівняння Эйлера (при $n = 4$), а вагальний розв'язок рівняння (12) може бути вображено ва допомогою Θ -функцій ріманових поверхонь

$$\Theta(Z|B|) = \sum_{N \in \mathbb{Z}} exp\left\{\frac{1}{2} < BN, N > + < N, Z >\right\},$$

де $Z = (Z_1, \ldots, Z_g) \in C^g$ - комплексний вектор; $< \cdot, \cdot >$ - евклідовий скалярний добуток; $< N, Z >= \sum_{i=1}^{m} N_i Z_i, < BN, N >= =\sum_{i,j=1}^{m} B_{ij} N_i N_j; N = (N_1, \ldots, N_m)$ - решітка цілочисленних векторів.

Розв'язання рівняння (7) за умови $[a, V] = M, [b, V] = \Omega$ (де $a = =J^2; b = J; V$ - довільна матриця з нульовими елементами на діагоналі), виконується методами теорії солітонів.

Одержано узагальнення лінійно-квадратичної задачі оптимального керування на клас керованих систем із скінченновимірними алгебрами Лі (включаючи L системи і системи, інваріантні відносно зсувів). Розв'язано задачу нелінійної фільтрації. Одержано інтегральне рівняння для різниці фільтрів, яке задовольняє груповим властивостям. Показано, що рівняння Гельфанда – Левітана – Марченка (ГЛМ) оберненої спектральної теорії можна інтерпретувати з найбільш загальної точки зору в аспекті нелінійної задачі фільтрації. Рівняння ГЛМ можна розглядати як узагальнення рівняння Вінера – Хопфа. Це спостереження справедливе і для фільтру Калмана. Описано загальну схему введення потенціалів порівняння, які дозволяють представити розв'язок рівняння ГЛМ через розв'язок інтегрального рівняння для різниці відомого і шуканого ядер ГЛМ. Використання потенціалів порівняння веде до схем збурення і варіаційних методів, що дають більш точну апроксимацію потрібного "ядра" ГЛМ.

Показано використання методів компьютерної алгебри і геометрії для обчислення основних диференціально-геометричних конструкцій, які можна використовувати у дослідженні системи (1) (дужка Лі векторних полів, похідна Лі, функція водовж векторного поля, розподіл, диференціальна форма). На основі цих конструкцій вивчені певні системні властивості керованих процесів.

В третій главі досліджено системно-теоретичні моделі фізичних процесів і динамічних систем перетворення інформації.

На основі концепцій поля Янга – Міллса дано узагальнення розв'язку задачі керування динамікою частинок в полях складної фізичної природи. Показано, що керована динаміка частинок описується розшаруванням $(P, T^1, \tilde{g})$ зі зв'язністю C_a^b. Визначено геометричний зміст керування як зв'язності певного просторово-часового многовиду.

Введено означення афінної гамільтонової моделі клітинкового автомату КА трансд'юсерного типу. Для КА одержано співвідношення між керованістю, спостережуваністю і мінімальною реалізовністю.

між керованістю, спостережуваністю і мінімальною реалізованістю. Отримано таку теорему.

Теорема 2. Нехай $\mathcal{G}(M, W, B, f)$ - гамільтонів КА, $\psi = (g, h)$, де $g : B \to TM$ і $h : B \to W; B$ - векторне розшарування; $W = T^*Y$; Y - многовид вихідних сигналів; T^*Y кодотичне розшарування з натуральною симплектичною формою $\omega^Y; h : B \to T^*Y$ - морфізм розшарувань; h - лінійна біекція із B в T^*Y. Тоді знайдуться векторні поля A і B_i, $i = 1, \ldots, \overline{m}$, де $\overline{m}$- вимірність шару B і відображення $C : M \to Y$ такі, що кожну клітинку КА локально буде описано системою рівнянь

$$\dot{x}(t) = A(x) + \sum_{i=1}^{m} u_i(t) B_i(x), \quad y_i = C_i(x), \quad i = 1, \ldots, m. \tag{14}$$

Тут $(y_1, \ldots, y_m)$ – координати для $Y; C = (C_1, \ldots, C_m)$ такі, що $L_A\omega = \emptyset$ і $\omega\ (B_i, -) = dC_i$, таким чином маємо афінно гамільтонів КА. Встановлено, що афінний гамільтонів КА локально слабо спостережуваний, коли кожна його клітинка строго досяжна.

В четвертій главі розглянуто проблему створення нових динамічних систем перетворення інформації з принципами нелінійної динаміки коливних та хвильових фізичних процесів та системно-теоретичні аспекти створення деяких пристроїв перетворення інформації. Введено і досліджено новий клас гамільтонових КА трансд'юсерного типу, описані системою рівнянь

$$\begin{gathered} \dot{x}^k = X_H^k(x^k, a^k, u^k), \quad x^k \in M^k,\ x^k(0) = x_0^k, \\ y_j^k = -H_j^k(x^k, a^k),\ j = 1, \ldots, m, \\ k = 1, \ldots, p \quad u^k = (u_1^k, \ldots, u_m^k) \in \Omega \subset \mathbb{R}^m, \end{gathered} \tag{15}$$

де $H^k(x^k, a^k, u^k)$ - аналітична функція стану x^k, параметрів $a^k = F^k(x^l)(l \neq k)$ таких, що враховують взаємодію k-ї клітинки з його сусідами і реконфігуруючих впливів u^k, k - порядковий номер клітинки. У випадку гамільтоніана

$$H^k(x^k, a^k, u^k) = H_0^k(x^k, a^k) - \sum_{j=1}^{m} u_j^k H_j^k(x^k, a^k), \tag{16}$$

одержуємо систему .

$$\dot{x}^k = g_{H_0}^k(x^k, a^k) + \sum_{j=1}^{m} u_j^k g_{H_j}^k(x^k, a^k),\ x^k(0) = x_0^k,\ x^k \in (M^{2n}, \omega),$$

$$\dot{y}_j = h_j = -\frac{\partial H_j^k}{\partial u_j^k} \quad (x^k, u^k),\ j = 1, \dots, m,$$

$$k = 1, \dots, p \quad u^k = (u_1^k, \dots, u_m^k) \in \Omega \subset \mathbf{R}^m.$$

Тут M^k - симплектичний многовид з симплектичною формою ω і гамільтоновими векторними полями $g_{H_i}^k, i = 1, \dots, m$, $\Omega \subset \mathbf{R}^m$ - область значень керувань, яка вміщує точку 0, u_j^k - компоненти вектора керування, який відноситься до заданого класу U_j допустимих функцій. Керування u_j^k розглядається як узагальнений зовнішній макроскопічний вплив.

В главі обгрунтовано можливість побудови гамільтонового КА, введено ряд системних понять і одержано умови керованості, спостережуваності, досяжності і мінімальної реалізованості.

Визначення 1. Нехай L^k - алгебра Лі гамільтонових векторних полів k-ї клітинки КА. Простором спостережень $\mathcal{H}^k$ клітинки k будемо називати такий лінійний простір функцій на M^{2n}, що $f(H_j^k) = L_f H_j^k, f \in L, j = 1, \dots, m$.

Пропозиція 1. $\mathcal{H}_j^k$ є ідеал в алгебрі Лі гамільтоніанів $H_0^k, \dots, H_m^k$ породжених дужками Пуассона і гамільтоніанами взаємодії $H_1^k, \dots, H_m^k$.

Пропозиція 2. Нехай маємо гамільтонову модель КА. Тоді:

а. Стани КА строго досяжні і слабо керовані, якщо $dim\ d\mathcal{H}^k(x^k) = dim M^k, \forall x^k \in M^k$ або, що еквівалентно, КА квазімінімальний;

б. КА строго досяжний і спостережуваний, якщо $dim\ d\mathcal{H}^k(x^k) = dim M^k, \forall x^k \in M^k$ і $\mathcal{H}^k$ дозволяє розрізнити точки на M^k або, що еквівалентно, КА мінімальний.

Теорема 3. Нехай маємо строго досяжний і керований КА. Тоді він є мінімальним тільки у тому випадку, коли алгебра Лі векторних полів гамільтонова КА самоприєднана.

Нехай $\mathcal{H}^k$ є N-вимірна алгебра Лі, $\zeta_1, \dots, \zeta_N$ - базис $\mathcal{H}^k$. Тоді КА може бути представлено БС на дуальному просторі $\mathcal{H}^{k*}$.

$$dz_i^k/dt = \sum_{r=1}^{N} a_{ir}^k z_r^k - \sum_{j=1}^{m} u_j \sum_{r=1}^{N} b_{ir}^{kj} z_r^k,\ i = 1, \dots, N,$$

$$y_j^k = \sum_{l=1}^{N} h_l^{kj} \zeta_l,\ j = 1, \dots, m,\ (z_1^k, \dots, z_N^k) \in \mathcal{H}^{k*}.$$

Відображення "вхід-вихід" даної системи дорівнює відображенню "вхід- вихід" гамільтонова КА, а сам автомат можна розглядати як динамічну систему на Пуассонівському многовиді.

Одержано і досліджено модель квантового КА

$$i\frac{\partial\Psi^k}{\partial t} = \left(\hat{H}_0^k + \sum_{j=1}^{m} u_j^k \hat{H}_j^k\right)\Psi^k, \ \ \Psi^k \in \mathcal{H}^k,$$

$$y_j^k = < \Psi^k|\hat{H}_j^k|\Psi^k >, \ \ j = 1,\ldots,n \qquad (17)$$

з макроскопічними керуваннями $u_1^k,\ldots,u_m^k$ і виходами $y_1^k,\ldots,y_m^k$ рівними математичним сподіванням спостережуваних $\hat{H}_j^k$. Показано, що простір спостережень квантово-механічного КА заданий ідеалом алгебри Лі математичних сподівань гамільтоніанів $\hat{H}_0^k,\ldots,\hat{H}_m^k$, побудованим за допомогою дужки Пуассона за математичними сподіваннями гамільтоніанів $\hat{H}_1^k,\ldots,\hat{H}_m^k$. Встановлено, що квантово-механічний КА трансд'юсерного типу не може бути мінімальним.

Досліджено певні аспекти проблеми системно-теоретичного опису квантових процесів. Встановлено взаємозв'язок окремих задач оптимального керування і нелінійної фільтрації з рівняннями Гамільтона - Якобі і Шредінгера. За допомогою теорії калібровочних полів, інстантонів та ймовірностного підходу до квантової механіки показано можливість вирішення складних задач моделювання, оптимізації та оптимального керування.

Побудовано модельний гамільтоніан для синтаксичного розпізнавання двовимірних зображень, описаних ланцюжками найпростіших елементів за певною граматикою. Встановлено, що мова розпізнається автоматом, коли вона породжена регулярною граматикою. Досліджено можливість розпізнавання двовимірних образів квантово-статистичною спіновою решітчастою системою, яка функціонує в режимі машини Тюрінга.

Досліджено солітонні процеси в певних нелінійних фізичних системах. Запропоновано математичні моделі дискретних перетворювачів інформації і скінченних автоматів на солітонних перемикачах. Введено поняття строго детермінованого обчислювального середовища (ОС), визначено її характеристики і проведено аналіз алгебричних властивостей моделей ОС. Теоретично досліджено переваги та недоліки групового моделювання солітонних ОС.

Розглянуто білінійну систему

$$\dot{x} = A_1xu_1 + A_2xu_2 + A_3xu_3,$$

де $x = (x_1, x_2, x_3); u_1(t), u_2(t), u_3(t)$ - кусково-неперервні функції часу. З'ясовано, що при використанні оберненого зв'язку $u_1(x) = -x_3$; $u_2(x) = x_2$; $u_3(x) = f(x_1, x_2, x_3)$ система може функціонувати як реконфігурований логічний елемент. Показано, що таку можливість обумовлено наявністю в системі декількох атракторів. За допомогою чисельного моделювання досліджено динаміку процесів перемикання елементу. Встановлено, що систему можна розглядати як окремий шар нейросітки.

В п'ятій главі поставлено і вирішено проблему оптимального білінійного вимірювання слабких збурень гравітаційних і магнітних полів різного походження. Введено ряд нових понять і означень, необхідних для коректного розв'язання задач аналізу динаміки і стійкості сенсорів та датчиків на основі явища надпровідності. Розв'язано задачу оцінювання і спостереження малих за значенням сигналів шляхом зведення моделі вимірювання до білінійного вигляду. Основну увагу приділено релейному оцінюванню гравітаційних впливів та оцінюванню параметрів майже періодичного впливу на пробне тіло в керованій потенційній ямі.

Розглянуто і вирішено проблему створення високоточного адаптивного сенсора на основі явища магнітної левітації. Запропоновано структуру сенсора, яка включає сукупність індуктивно зв'язаних RLC-контура, контура з контактом Джозефсона, рухомого і нерухомого короткозамкнених ідеально електропровідних контурів і керуючого контуру. Вважається, що пробне тіло в магнітній потенційній ямі непружне, зміщення його відносно стану рівноваги мале в порівнянні з характерними розмірами ЧЭ, вимірювання зміщення пробного тіла здійснюється системою на основі контакту Джозефсона, який описано резистивною моделлю, квантування магнітного потоку в ланцюгах не проявляється. Потрібно побудувати інваріантну до збурень математичну модель асимптотично стійкого адаптивного оцінювання гравітаційного сигналу r за спостереженням z_1.

Розв'язок задачі складається з таких етапів: 1) синтезу алгоритму керування, який забезпечує асимптотичну стійкість незбуреного руху; 2) синтезу алгоритмів адаптивної фільтрації; 3) чисельного аналізу математичної моделі оцінювання. В главі подано модель сенсора

$$\dot{y} = f(y,u,a) = f_0(y,a) + \sum_{i=1}^{6} f_i(y,a)u_i(t),$$

$$z = c\int_0^T\left(\int_0^t y_5(\tau)d\tau\right)dt, \qquad (18)$$

де $f_0, f_1, \ldots, f_6$ - гладкі векторні поля класу $C^\infty; y \in Y \subset R^n$; $y = (y_1,\ldots,y_6)$ – вектор стану; $y(0) = 0$; $u_1(t)$ - скалярне керування; $u_2(t) = u_1^2(t)$; $u_3(t) = r(t) + s(t)$ - адитивна суміш гравітаційного сигналу і шуму, впливаючих на динаміку пробного тіла; $u_4(t)$ – стаціонарний випадковий процес; $u_5(t)$ - δ - корельований шум; $u_6(t) = A\sin\omega t$ – детермінована функція; $\{a_{ij}\}$, $(i = 1,\ldots,3, j = 1,\ldots,11)$ - матриця параметрів системи; z – одновимірний вихід моделі; c – деяка константа.

Окремий випадок системи (18) для змінних стану $y_1,\ldots,y_6$ і функціонал z (модель квантового інтерферометра), описано так

$$\dot{y} = Ay + (Bu_1 + Cu_1^2)y + Du_1 + Eu_1^2 + Fu_3 + Gu_4,$$

$$z = Ly = \alpha y_1 + \beta y_2, \qquad (19)$$

де A, B, C, D, E, F, G, L – матриці відповідних розмірів, $y \in \hat{Y} \subset R^2; z \in R^1$.Нехай $u_3(t) = 0, u_4(t) = 0$, тоді лінеаризована модель має вигляд

$$\dot{x} = Ax + Bu_1,\ z = Cx. \qquad (20)$$

Одержано розв'язок задачі стійкості рівноваги вільного надпровідного пробного тіла в магнітному полі двох нерухомих. В результаті дослідження знайдено області стійкості левітуючого кільця при постійному керуванні. Одержано розв'язок задачі асимптотичної стійкості білінійної моделі динаміки. Знайдено матрицю оберненого зв'язку, яка забезпечує асимптотичну стійкість положення рівноваги (19) в певній області H зміни x. Показано можливість оптимізації інформаційних характеристик виміру вибором матриці параметрів a і керування $u(\hat{n})$, що забезпечують синтез визначених метричних і топологічних властивостей дискретної апроксимації БМ $\{T,\hat{Y},S,\Psi\}$, де $\{T^{\hat{n}} : \hat{n} \in \mathbf{Z}\}$ – каскад; $T : \hat{Y} \to \hat{Y}, \Psi : \hat{Y} \to \mathcal{L}$ – відображення "вхід - вихід" системи $S, \mathcal{L}$ – скінчений алфавіт, методами символічної динаміки. Подальша оптимізація досягається синтезом процесу вимірювання в околі підкови Смейла додатньої міри

Лебега динамічної системи $\{T, \hat{Y}, S, \Psi\}$. Вимога про стійкість процесу вимірювання забезпечується введенням динамічного оберненого зв'язку $\dot{\hat{u}}_1 + \hat{\alpha}\hat{u}_1 = \hat{\alpha}r(y - u_0)$ у моделі $\ddot{y} - \hat{u}_4 = \hat{u}_1 + \hat{u}_3$.

Тут $u_0(t)$ – потрібна залежність положення пробного тіла від часу, $\hat{u}_1 = d_2u_1, \hat{u}_3 = f_2u_3, \hat{u}_4(y) = g_2u_4 = \delta y + \hat{K}(y)y$, $\delta, \hat{\alpha}, r$ – константи, $\hat{K}(y) = (1/\hat{B})(y^2 - 1)(y^2 - \hat{B}), \hat{B} > 1$.

При $r = 0$ реалізується три стійких положення рівноваги $y = 0, \pm\sqrt{\hat{B}}$ і дві сідлові точки $y = \pm 1$.

При деяких значеннях параметрів $(\delta, \hat{\alpha}, r, \hat{B})$ система буде переходити під дією u_0 з одного стану рівноваги до іншого.

При інших значеннях параметрів з'являються граничні цикли і навіть хаотична поведінка. Так при $u_0 = \hat{u}_3 = 0$ і певному значенні r початок координат фазового простору стає нестійкою сідловою точкою спірального типу. Числова модель процесу виміру проявляє при цьому хаотичну поведінку (утворення атрактора), властивості якого використовуються для підвищення чутливості виміру.

Поставлено і розв'язано задачу адаптивного оцінювання на основі параметричної ідентифікації білінійної моделі та алгоритму адаптивної фільтрації. Алгоритм ідентифікації БМ засновано на розв'язку системи лінійних рівнянь.

Запропоновано і досліджено модель адаптивного сенсора, описану сукупністю наступних операторів: виміру S_1 сигналу $u_3(t)$, виміру S_2 вектора стану y, оператора адаптивного оцінювання S_4 , оберненого оператора $S_6 = (S_1S_2)^{-1}$, операторів індикації сигналів S_7, S_8, ідентифікації параметрів БМ S_{10}, синтезу S_{11} параметрів регулятора БМ і операторів S_{13}, S_{14}, що забезпечують необхіде для оптимальної фільтрації відношення сигналу до шуму $r_1(t)/s_1(t)$. Оператори S_{13}, S_{14} побудовані на основі гамільтонової моделі системи вільних фізичних маятників з парою співісних ідеально електропровідних кілець на торцях кожного з них і двоканальної схеми компенсації шуму.

Чисельне моделювання підтвердило інваріантність математичної моделі оцінювання до шуму $u_4(t)$ з обмеженим зверху спектром і стаціонарного шуму $s(t)$ з невідомими параметрами спектральної щільності. Встановлено інваріантність моделі до збурень імпульсного характеру, досліджено динаміку білінійної моделі виміру з оберненим зв'язком по виходу, і виявлено стохастичність джозефсонівського контакту, зумовлену процесом його перезарядки через нормальний опір в гістерезисному режимі. На прикладах конкретних сигналів проведено аналіз ефективності цифрової адаптивної фільтрації в системі оцінювання. Одержано оцінки мінімально виявленого сигналу, що дозволяють проводити деякі експерименти фундаментального характеру за умов реалізації системи оцінювання: перевірка принципу еквівалентності в теорії відносності, виявлення гравітаційних хвиль тощо.

Досліджено динамічну модель вимірювального сенсора (ВС)

$$\dot{x}(t) = \hat{A}x(t) + u_1(t)\hat{B}_1x(t) + u_2(t)\hat{B}_2x(t),$$

$$y(t) = \hat{c}x(t),\ x(0) = x_0,\ x \in F, \tag{21}$$

де $x(t)$ - двовимірний вектор стану ВС; $u_1(t)$ - кусково-аналітичне скалярне керування, означене на $(0,\infty)$; $u_2(t) = r(t) + s(t)$; $r(t) + A_0\varphi(\omega_0 t)$ корисний сигнал; A_0, ω_0 - постійні величини, більші одиниці; φ - майже періодична функція вигляду

$$\varphi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{i\lambda_k t}, \tag{22}$$

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k| < \infty,\ \lambda_k \geq 0,\ k \geq 0, \tag{23}$$

$c_k = \overline{c}_{-k}, \lambda_k = -\lambda_{-k}, |\lambda_l - \lambda_k| \geq \Delta > 0$ при $l \neq k$; $\{s(t), t \in R^1\}$ - перешкода, яка являє собою дійсний стаціонарний в вузькому значенні випадковий процес, $Ms(t) = 0, (Ms(t_1)s_1(t+t_1)) = g(t)$, задовольняє умові сильного перемішування

$$\sup_{\tilde{A}\in F^1_{-\infty}, \tilde{B}\in F^{\infty}_{t+\tau}} |P(\tilde{A}\tilde{B}) - P(\tilde{A})P(\tilde{B})| = \alpha(\tau) \leq C/\tau^{1+\epsilon} \tag{24}$$

з деякими фіксованими додатніми числами $\tau > 0, c > 0$, і $\varepsilon > 0$; $F^b_a = \delta\{s(t), t \in [a,b]\}$ - найменша δ - алгебра, породжена випадковим процесом $s(t), t \in [a,b]; \exists\delta > 4/\varepsilon, \varepsilon > 0$, що,

$$M|s(t)|^{4+\delta} < \infty. \tag{25}$$

Спектральна щільність $f(\lambda)$ являє собою неперервну і обмежену на R^1 функцію, зв'язану з $s(t)$ співвідношенням

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\lambda t} f(\lambda) d\lambda.$$

Потрібно за спостереженням $y(t)$, $t \in [0,T]$ оцінити невідомі параметри A_0 і ω_0.

Для розв'язання задачі оцінювання введено ряд визначень, пов'язаних з поняттям правильності ВС, оборотності і скінченності групи Лі системи (21). Нехай ПІМВС - правоінваріантна модель ВС.

Визначення 2. Відносним порядком білінійної системи (21) називається найменше позитивне число k, таке що $\hat{c}ad_{\hat{A}}^{k-1}\hat{B}_2 \neq 0$.

Припустимо, що $u_1(t) = 0$, відносний порядок $k < \infty$ і $ad_{\hat{A}}^{k-1}\hat{B}_2 x_0 \neq 0$, тоді БС (21) оборотна з лівою інверсією

$$\dot{\hat{x}}(t) = a(\hat{x}(t)) + \hat{u}_2 b(\hat{x}(t)), \quad \hat{x}(0) = \hat{x}_0 \in M,$$

$$\hat{y}(t) = d(\hat{x}(t)) + \hat{u}_2(t)e(\hat{u}_2(t)),$$
$$a(\hat{x}) = \hat{A}\hat{x} + (c\hat{A}^k\hat{x}/c\hat{A}^{k-1}\hat{B}_2\hat{x})\hat{B}_2\hat{x},$$
$$b(\hat{x}) = (1/c\hat{A}^{k-1}\hat{B}_2\hat{x})\hat{B}_2\hat{x},$$
$$d(\hat{x}) = -(c\hat{A}^k\hat{x}/c\hat{A}^{k-1}\hat{B}_2\hat{x}),$$
$$e(\hat{x}) = (1/c\hat{A}^{k-1}\hat{B}_2\hat{x}),$$

де $\hat{x} \in M$; M - диференційований многовид; $\hat{u}_2 \in \mathcal{U}$; $a(\cdot)$ і $b(\cdot)$ - гладкі векторні поля на M; $a(\cdot)$ і $b(\cdot)$ - гладкі функції на M. Якщо $\hat{u}_2(t) = \hat{y}^{(k)}(t)$, то $\hat{y}(t) = u_2(t)$.

Розглянемо функціонал

$$Q_T(\omega) = |\frac{2}{T}\int_0^T \hat{y}(t)e^{i\omega t}dt|^2. \tag{26}$$

Нехай ω_T - те значення $\omega \geq 0$, при якому $Q_T(\omega)$ сягає максимальної величини. Оскільки $Q_T(\omega)$ з ймовірністю 1 є неперервною функцією ω , а $Q_T(\omega) \to 0$ при $\omega \to \infty$, величина ω_T також визначається з ймовірністю одиниця.

Тоді справедливі теореми оцінювання параметрів майже періодичного сигналу:

Теорема 4. Нехай виконані умови (22)-(26), $|c_{i_0}| > |c_i|, i \neq \pm i_0, i_0 > 0, f(\lambda_{i_0}\omega_0) > 0$. Тоді а) $\lim Q_T(\omega_T) = \lim Q_T(\lambda_i\omega_0) = 4A_0^2|c_i|^2$ при $T \to \infty$, б) величина $T(\omega_T/\lambda_i - \omega_0^0) \to 0$ з ймовірністю одиниця при $T \to \infty$, в) величина $A_T = 1/2|c_{i_0}|^{-1}Q_T(\omega_T)$ є сильно слушною оцінкою A_0, г) величина $T^{3/2}(\omega_T - \lambda_i\omega_0)$ асимптотично нормальна з нульовим середнім і дисперсією

$$\sigma^2 = 12\pi A_0^{-2}|c_{i_0}|^{-2} f(\lambda_{i_0}\omega_0),$$

д) величина $\xi_T = \sqrt{T}(A_T - A_0)$ асимптотично нормальна з параметрами $(0, \pi|c_{i_0}|^{-2} f(\lambda_i \omega_0))$.

Нехай вимірювання здійснюється ВС, який описано рівнянням

$$x(t+1) = Ax(t) + B_1 x(t) u_1(t) + B_2 x(t) u_2(t), \tag{27}$$

$$y(t) = Cx(t), \tag{28}$$

де $x(t)$ - двовимірний вектор стану; $u_1(t)$ - скалярне керування; $u_2(t) = r(t) + s(t)$ - вимірна функція; $y(t)$ - двовимірний вектор виходу ВС;A, B_i, C - дійсні матриці. Припущення, відносно функцій $r(t)$ і $s(t)$ - такі ж, як і раніше.

Ставиться задача оцінювання параметрів A_0 і ω_0 сигналу $r(t)$ по спостереженню $y(t), t \in [0, T]$.

Припустимо $B_i = e_i v_i'$, $rank B_i = 1$, $i = 1, 2$, $E = [e_1 e_2]$, матриця CE має повний ранг. Тоді можна побудувати оборотну відносно (27) систему з виходом $\hat{u}_2(t)$.

Розглянемо функціонал

$$Q_T(\omega) = |\frac{2}{T}\int_0^T \hat{u}_2(t) e^{i\omega t} dt|^2,$$

$$t = 0, \Delta T,\ 2\Delta T, \ldots, T,$$

де ω_T – значення $\omega \geq 0$, при якому $Q_T(\omega)$ сягає максимальної величини.

<u>*Теорема 5.*</u> Нехай виконується умова (22)-(26),

$$|c_{i_0}| > |c_i|,\ i \neq \pm i_0,\ i_0 > 0,\ f(\lambda_i\, \omega_0) > 0. \tag{29}$$

Тоді з ймовірністю одиниця

$$T(\omega_T/\lambda_{i_0} - \omega_0) \to 0 \ \text{ при } \ T \to \infty$$

$$lim_{\tau \to \infty} Q_T(\omega_T) = lim Q_T(\lambda_{i_0}\omega_0) = 4A_0^2|c_{i_0}|^2,$$

величина $A_T = 1/2|c_{i_0}|^{-1} Q_T(\omega_T)$ є сильно слушною оцінкою A_0.

На основі одержаних результатів синтезовано два типи білінійних спостережників сигналів на скінченних групах Лі.

Розглянуто проблему ідентифікації систем з хаотичною динамікою. На основі експериментальних даних розв'язано задачу ідентифікації моделі електромагнітної активності кардіосистеми за часовим рядом з урахуванням впливу нестаціонарних шумів. Наведено класифікацію шумів і сигналів. Запропоновано методи компенсації шумів, функціональні структури нових адаптивних систем оцінювання сигналів і алгоритми просторово-часової компенсації шумів градієнтометра. Запропоновано функціональну структуру стійкого щодо перешкод адаптивного градієнтометра другого порядку.

Шосту главу присвячено дослідженню проблеми ідентифікації процесів розсіювання радіосигналів на морській поверхні з метою побудови високоефективних систем виявлення малорозмірних об'єктів.

В роботі вперше показано можливість моделювання візуальної обстановки системою стохастичних диференціальних рівнянь

$$dx = f(x,t)dt + g(x,t)d\omega, \tag{30}$$

$$dy = A(q,y)dt + \sum_{j=1}^{m} B_j(q,y)d\omega, \tag{31}$$

яка допускає білінійне зображення та часткову декомпозицію. Тут $w - m$ - вимірний вінерівський процес; $y(x,q)$ - амплітуда сигналу на виході РЛС; $A(q,y)$ и $B(q,y)$ - задані функції точки y і керованого параметру q; $x \in S$ - дифузійний процес, який моделює фоново-цільову обстановку.

Одержано та досліджено з позиції стохастичної геометрії зображення рівняння (30) в інваріантній формі

$$d\beta(t) = exp_{\beta(t)}\{a(t,\beta(t))dt + B(t,\beta(t))d\omega(t)\} =$$

$$= exp_{\beta(t)}(a(t,\beta(t))B(t,\beta(t)))_t, \tag{32}$$

де $exp : \psi_y = \psi \cap T_yM \to M$ дифеоморфізм околу нуля $\psi_y \in T_yM$ на певний окіл V_y точки $y \in M$. Доведено теорему.

Теорема 6. (Необхідні і достатні умови). Для того, щоб система (30) припускала часткову декомпозицію порядку $\hat{k}$ степеня $\hat{p}$ за допомогою заміни $y = \xi(t,x)$, необхідно і достатньо, щоб відповідна їй порівняльна детермінована керована система припускала часткову декомпозицію $\hat{k}$ степені $\hat{p}$, а також щоб функції

$$d_{rj} = \sum_{i=1}^{n} (\partial \xi_r / \partial x_i) g_{ij} \quad (r = \hat{k}+1, \ldots, n, \ j = 1, \ldots, m)$$

залежали тільки від $\xi_1, \ldots, \xi_{\hat{k}+\hat{p}}$, тобто

$$d_{rj} = \Phi_{rj}(t, \xi_1, \ldots, \xi_{\hat{k}+\hat{p}}), \quad \Phi_{rj} \in C^1 \subset R^{\hat{k}+\hat{p}+1}.$$

Розглянуто проблему ідентифікації та реалізації негаусівських процесів розсіювання на морській поверхні за експериментальними даними, зображеними часовими рядами. Запропоновано білінійні стохастичні моделі шумів негаусівського типу. Для перевірки наявності дивного атрактора був проведений чисельний експеримент, в якому використано дані радіолокаційного розсіювання на поверхні моря. Кожен часовий ряд зображав еволюцію сигналу, відбитого від морської поверхні на фіксованій похилій дальності від місця розташування РЛС. Моделювання показало характерну для динамічного хаосу логарифмічну залежність кореляційного інтегралу. Отримано слушні оцінки вимірності атрактора. На основі використання методу найменших квадратів для всіх кривих із цієї області обчислено величини їх нахилу. Результати розрахунків показали, що величини нахилів прагнуть до певного граничного значення, що і визначило кореляційну вимірність, яка лежить між 6.6 і 6.9. Визначено також числові значення таких параметрів, як показник Ляпунова, ентропія Колмогорова тощо. Для моделювання хаотичного сигналу запропоновано систему рівнянь

$$T_1\dot{x}_1 + x_1 = z_k u(z_k),\ \ T_2\dot{x}_2 + x_2 = x_1, \dots, T_n\dot{x}_n + x_n = x_{n-1}, \qquad (33)$$

$$\ddot{z}_1 + \alpha_1\dot{z}_1 + \beta_1^2 = \beta_1^2 x_n,\ \ \ddot{z}_2 + \alpha_2\dot{z}_2 +$$

$$+\beta_2^2 z_2 = \beta_2^2 z_1, \dots,\ \ \ddot{z}_k + \alpha_k\dot{z}_k + \beta_k^2 z_k = \beta_k^2 z_{k-1},$$

де T_i – постійні часу; α_i і β_i – коефіцієнти дисипації і резонансні частоти, $u(z_k)$ – нелінійна функція.

В системі з $k = 3, n = 1$ можна сподіватись реалізації необхідних нам хаотичних коливань. Проведене чисельне моделювання системи (33) з функцією $u(z_k) = m exp(-z_3^2)$ показало, що з збільшенням m в системі виникають автоколивання, потім з'являється двочастотний режим і встановлюються квазіперіодичні коливання. Подальший ріст коефіцієнту підсилення спричиняє режим синхронізації двочастотних коливань, в результаті яких виникає резонансний тор. При $m > 18$ відбувається руйнування двовимірного тору і перехід до стохастичності.

Одержено оцінки характеристик виявлення маловимірних об'єктів і запропонована функціональна структура негаусівського адаптивного виявляча сигналів. Показано можливість побудови квантових фільтрів, які заглушують хаотичні шуми. Приведено умови, за яких шум типу динамічного хаосу може заглушуватись динамічними процесами в квантовій відкритій системі. Встановлено можливість реалізації квантового приймача типу Неймана – Пірсона з двома керованими порогами на зворотних квантових елементах Р. Фейнмана.

Досліджено актуальну проблему оцінювання параметрів діагностичних сигналів у термоядерних установках. Одержано моделі неперервних і дискретних діагностичних сигналів і запропонована модель білінійного фільтра. Розв'язано задачу стабілізації рівноваги плазми в термоядерних установках на основі алгоритмів керування динамікою струмів в обмотках, яка описується білінійною моделлю. Припускається, що струм плазми, обумовлений магнітною індукцією зовнішньої обмотки, визначається розташуванням обмежувачів всередині тора системи типу "Токамак", а система в цілому має симетрію відносно вісі тору, що дозволяє використати модель з двома координатами в меридіональному розрізі тору.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ВИСНОВКИ

В роботі на основі системно-теоретичного опису відкритих фізичних систем розглянуто проблему ідентифікації, оцінювання та керування нелінійними процесами, математичні моделі яких приводяться до білінійного вигляду. При розв'язанні проблеми одержано такі результати:

1. Запропоновано системно-теоретичний підхід до опису та аналізу фізичних об'єктів на основі їх розгляду, як систем з зовнішніми змінними. Розвинуто теорію білінійної реалізації моделей фізичних систем, що дозволило провести конструктивний аналіз основних системних властивостей.

2. Одержано подальший розвиток методів ідентифікації білінійних процесів у фізичних системах. Розроблено алгоритми ідентифікації, орієнтовані на використання в адаптивних сенсорах та прецизійних приладах. Розв'язано задачу ідентифікації та реалізації певних нелінійних систем за експериментальними часовими рядами. Виявлено умови виникнення процесів самоорганізації в динамічних системах з електромагнітною взаємодією. Досліджено з точки зору хаотичної динаміки атрактор, що характеризує процеси розсіювання на морській поверхні.

3. Запропоновано солітонний підхід до розв'язування задач оптимального керування, фільтрації та синтезу чутливих елементів. Створено фізико-математичні моделі солітонних функціональних елементів та адаптивних розподілених обчислю..альних середовищ.

4. Розв'язано проблему адаптивного оцінювання слабких збурень гравітаційного поля з невідомими параметрами спектральної щільності. Вперше синтезовано спостережники майже періодичних сигналів за дискретними та неперервними бі.інійними моделями вимірювання. Запропоновано білінійні моделі сенсорів і з'ясована роль нільпотентних алгебр Лі в їх синтезі.

5. Одержано умови стабілізації систем, що приводяться до білінійного вигляду. Запропоновано нові методи стабілізації динаміки чутливих елементів кріосенсорів. Виявлено умови виникнення нерегулярної динаміки і показано можливість подальшого підвищення чутливості сенсора за допомогою оптимізації моделі виміру і більш точного врахування механізму стохастичності.

6. Встановлено нові закономірності реалізації динамічних систем перетворення інформації. Досліджено вплив симетрій на процеси перетворення інформації. Вперше розроблено модельний гамільтоніан розпізнавача двовимірних образів в класі квантових автоматів із скінченним спектром, а також моделі класичних і квантових клітинкових автоматів трансд'юсерного типу на реконфігурованих клітинах і зв'язках між ними. Одержано умови керованості, локально слабкої спостережуваності, строгої досяжності і мінімальної реалізованості.

7. Одержано нові теоретичні і експериментальні результати досліджень інтелектуальних біосенсорів. Детально вивчено керовані процеси в чутливих елементах. Запропоновано новий тип екологічного сенсора на основі фотосинтетичного реєстратора забруднень, нейросітки Больцманівського типу на ймовірностних нейронах і білінійного ідентифікатора параметрів чутливого елементу.

8. Розроблено і досліджено моделі чутливих елементів із стабілізованою та керованою рівновагою левітуючого пробного тіла. Запропоновано методи проектування та оптимізації кріосенсорів на основі теорії білінійних систем. Розроблено систему просторово-часового адаптивного оцінювання біомагнітних сигналів за умов впливу шумових факторів та компенсатор електромагнітних шумів.

9. В рамках методу континуального інтегрування та стохастичної геометрії запропоновано новий підхід до моделювання та

ідентифікації фоново-цільової обстановки поблизу морської поверхні. Розроблено принципи квантового заглушення динамічного хаосу, синтезу негаусовських виявлячів сигналів та їх реалізації на перспективній елементній базі.

10. Побудовано моделі керування рівновагою плазми в термоядерних установках з урахуванням конструктивних особливостей та білінійності динаміки керуючої підсистеми. Розроблено і реалізовано систему проектування пристроїв для цифрової обробки діагностичних сигналів.

Результати дисертації опубліковано в 55 наукових роботах, основними з яких є:

1. **Яценко В.А.** *Динамически эквивалентные системы в решении некоторых задач оптимального управления* // Автоматика.-1984.-N4.-С. 59-65.

2. **Яценко В.А.** *Управляемые системы и расслоения* // Автоматика.-1985.-N5.-С. 25-28.

3. **Яценко В.А.** *О частичной декомпозиции стохастических систем* // Киберн. и вычисл. техника.-1988.-Вып.77.-С. 42-46.

4. **Яценко В.А.** *Адаптивное оценивание воздействий на макроскопическое тело в управляемой потенциальной яме* // Кибернетика.-1989.-N2.-С. 81-85.

5. **Яценко В.А.** *Релейное оценивание возмущений, действующих на пробное тело в управляемой потенциальной яме* // Киберн. и вычисл. техника.-1989.-Вып.87.-С. 82-84.

6. **Яценко В.А.** *Об инвариантном описании одного класса информационно-измерительных систем* // Сложные системы управления: Сб. науч. тр.-Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова, 1989.-С. 69-72.

7. **Яценко В.А.** *Синтаксическое распознавание образов в классе конечных квантовых автоматов* // Автоматика.-1990.-N5.- С. 10-13.

8. **Яценко В.А.** *Символьно-алгебраические методы анализа нелинейных и билинейных моделей эргатических систем управления* // Киберн. и вычисл. техника.-1990.-Вып.88.-С. 39-43.

9. **Самойленко Ю.И., Яценко В.А.** Адаптивное оценивание *воздействий на макроскопическое тело в управляемой потенциальной яме* // Докл. АН Украины.-1991.-N3.-С. 81-86.

10. **Яценко В.А., Спирин А.Ю., Яременко Н.П.** *Иерархические абстрактные структуры методов исследования управляемых*

процессов // Киберн. и вычисл. техника.-1991.-Вып.91.-С. 82-87.

11. **Черевко В.Л., Яценко В.А.** *Управляемые системы и моделирование отражений от морской поверхности* // Киберн. и вычисл. техника.-1992.-Вып.96.-С. 107-112.

12. **Кнопов П.С., Яценко В.А.** *Оценивание неизвестных параметров почти периодического сигнала по управляемым билинейным наблюдениям* // Автоматика и телемеханика.-1992.-N3.-С. 65-73.

13. **Яценко В.А.** *Квантово-механическая аналогия принципа оптимальности Беллмана для управляемых динамических систем* // Киберн. и вычисл. техника.-1993.-Вып.99.-С. 43-49.

14. **Yatsenko V.A., Gushcha A.A. et al.** *Intelligent systems of intigrel estimation and control of ecoobject state based on photosynthesizing biodetectors* // European Conference on Analytical Chemistry, Edinburgh, 5-11 Sept. 1993.-Edinburgh: Edinburgh University, 1993.-PI12.

15. **Яценко В.А.** Исследование хаотической динамики и адаптивное управление аттракторными характеристиками сердца // Средства получения и обработки цифровой информации: Сб. науч. тр.-Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН Украины, 1993.-С. 68-72.

16. **Yatsenko V., Kolesnik Yu.,Titarenko T.** *Identification of the non-Gaussian chaotic dynamics of the radioemmision back scattering processes* // Proc. of 10th IFAC Simposium on System Identification SYSID'94, København, 4-6 July 1994.-København: Danish Automation Society, 1994.-V1.- P. 313-317.

17. **Yatsenko V., Rakitina N.** *Identification of structure of dynamic information transformation systems* // Proc. International 94 New Orleans Conference "Information Processing IP'94, Orlean, 9-11 Nov. 1994.-Orlean, 1994.-P. 123-129.

18. **Самойленко Ю.И., Яценко В.А.** *Декомпозиция нелинейных динамических систем с периодическими параметрами* // Докл. АН Украины.-1994.-N 4.-С. 26-30.

19. **Самойленко Ю.И., Яценко В.А.** *Гамильтонова модель клеточного автомата трансдьюсерного типа* // Докл. АН Украины.-1994.- N4.-С. 26-30.

20. **Яценко В.А., Ракитина Н.А.** *Декомпозиция управляемой системы преобразования информации с локальными и глобальными симметриями* // Автоматика.-1994.-N3-4.-С. 61-70.

21. **Yatsenko V.A.** *Intelligent system of intigral estimation of water quality* // Sensors and Actuators: B. Chemical.-1995.- 29.-N.1-3.-P. 332-338.

22. **Yatsenko V.A.** *Intelligent sensor on the photosynthesizing object and used for estimation of water quality* // European Symposium "Optics for Environmental and Public Safety", Munich, 19-23 June 1995.-Munich Fairgrounds, 1994.-Proc. 2508.-Rep. 2508-32.

23. **Yatsenko, V.A.** *Determination of pollutions by chromatographic techniques and biosensors in water samples* // Proc. Intern. Symp. on Chromatography, Yokohama, 22-25 Jan. 1995.- Singapore: World Sci., 1995.-P. 517-518.

24. **Yatsenko V.A.** *Biosensors on the base photosynthesizing objects* // Proc. Intern. Symp. on Chromatography. Yokohama, 22-25 Jan. 1995.- Singapore: World Sci., 1995.-P. 731-739.

25. **Yatsenko V.A.** *Characterization of industrial waters using size-exclusion chromatography with intelligence detectors* // Intern. Symp. on Chromatography, Yokohama, 22-25 Jan. 1995.- Singapore: World Sci., 1995.- P. 519-521.

26. **Yatsenko V.A.** *Determinig the characteristics of water pollutants by neural sensors and pattern recognition methods* // Journal of Chromatography, A.-1996.-722, N1+2.-P. 233-243.

27. **Yatsenko V.A.** *Hamiltonian model of a transputer type quantum automaton* // Quantum Communications and Measurement.-New York: Plenum Publishing Corporation, 1995.-P. 361-366.

28. **Yatsenko V.A.** *Mathematical models reflecting the dynamic and self-organization features inherent in superconducting controlled by optical signal sensor of vibration* // Proc. European Symp. "Optics for Environmental and Public Safety", Munich, 19-23 June 1995.-Munich Fairgrounds.-Proc.2509.-Rep. 2509-19.

29. **Yatsenko V.A.** *Biosensors on the base photosynthesizing objects* // Proc. European Symp. "Optics for Environmental and Public Safety", Munich, 19-23 June 1995.-Munich Fairgrounds.-Proc.2508.-Rep. 2508-36.

30. **Yatsenko V.A.** *Neurosensors for operation in water and in the atmosphere* // Proc. European Symp. "Optics for Environmental and Public Safety", Munich, 19-23 June 1995.-Munich Fairgrounds.-Proc. 2505.-Rep. 2505-22.

31. **Yatsenko V.A.** *Soliton mechanism of optical anisotropy pho-*

toinduction in Langmuir – Blodgett films as the sensors // Proc. Intern. Worcshop, Sevastopol, 12–16 Sept. 1995.–Sevastopol, 1995.–P. 23–24.

32. **Yatsenko V.A.** *Characterization of industrial waters using intelligent detectors* // Proc. European Symp. "Optics for Environmental and Public Safety", Munich, 19-23 June 1995.–Munich Fairgrounds.–Proc. 2508.–Rep. 2508–13.

33. **Яценко В.А., Гапелюк А.В., Сосницкий В.Н.** *Методы фильтрации и обработки биомагнитных сигналов в условиях влияния шумовых факторов.*–Киев, 1991.–25 с.–(Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 91–9).

34. **Яценко В.А., Спирин А.С.** *Геометрические модели проблемно-ориентированых систем на основе клеточных автоматов.*–Киев, 1993.–14 с.–(Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 93–35).

35. А. с. 1417552 (СССР). *Сверхпроводящий магнитный подвес.* **И.П. Вишнев, В.А. Яценко и др.**– Заявка N 3989496 (зарегистрировано 15 апр. 1988 г.).

36. **Козорез В.В., Яценко В.А.** *Дифференциально-геометрические методы анализа нелинейных управляемых цепей с контактом Джозефсона* // Международная конф. по теорет. электротехнике, Москва, 23–28 сент. 1985 г.–М: Наука, 1985.–С. 87–88.

37. **Яценко В.А.** *Интегральное уравнение Гельфанда – Левитана и некоторые задачи фильтрации* // 2-я Республ.конф. "Интегральные уравнения в прикладном моделировании", Киев, декабрь 1986 г.–Киев: Ин-т електродинамики АН Украины, 1986, Ч.1.–С. 172–173.

38. **Yatsenko V.A.** *Identification of the non-Gaussian dynamics of the radioemmision back scattering processes and quantum estimation* // Differential Equation: Bifurcations and Chaos, Katsiveli, 3–14 May 1994: Abstracts.–Kiev: Inst. of Mathematics, 1994.–P. 110.

39. **Yatsenko V.A.** *Intelligent system of intigral estimation and biosensors on the base of photosynthesizing object* // 2-nd European Conference on Optical Chemical Sensors and Biosensors, Firenze, 19–21 Apr. 1994.–Firenze: IROE - CNR, 1994.–P. 117–118.

Вя

Яценко В.А. Идентификация и управление билинейными динамическими системами. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01. "Системный анализ и теория оптимальных решений", Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, 1996. Защищается 55 научных работ, которые содержат следующие результаты. На основе системно-теоретического описания управляемых физических процессов разработаны методы идентиф кации, оценивания и управления динамическими системами, модели которых приводятся к билинейному виду. Разработана теория реализации динамических систем преобразования информации, основанная на методах математической теории систем. Получены решения задач идентификации управляемых процессов в чувствительных элементах сенсоров, разработаны численные методы идентификации систем по временным рядам. Предложены принципы построения высокочувствительных адаптивных сенсоров и прецизионных приборов для оценивания слабых сигналов в присуствии негауссовских шумов.

Yatsenko V.A. Identification and control of the bilinear dynamic systems. For the doctor's degree to be obtained on speciality 05.13.01 "The system analysis and theory optimal solutions", doctorate has been presented. Institute of Cybernetic of the NAS of Ukraine, Kiev, 1996. The thesis defends 55 scientific works. It contains the follow results. The thesis considers the theory of identification and control of the nonlinear processes on the basis of system thoretic descriptions of physical systems. It is supposed that the nonlinear systems can be reduced to the bilinear form. The goal is to elaborate the methodology in order to analyze and synthesize the dynamic information transformation systems. The methods of the mathematical system theory are used. The essential attention is paid to identification of the controllable processes running in the sensors . The new results on system identification from time series are also presented. The thesis solves the application problem associated with creation of the highly sensitive neural sensors and detectors used to detect the weak signals in the presence of non-Gaussian noises.

Ключові слова:
адаптація, білінійні системи, ідентифікація, оцінювання, керування, реалізація, перетворення інформації, квантові і біомолекулярні системи, керування на мікрорівні, сенсори, фізичні системи.

ПIдп. до друку I6.04.96. Формат 60x84/I6. ПапIр для розмн. ап.
Офс. друк. Ум.друк.арк. I,86. Ум.фарбо-вIдб. I,98.
Обл. вид. арк. 2,0. Зам. 222. Тир. I00 прим.

РедакцIйно-видавничий вIддIл з полIграфIчною дIльницею
Iнституту кIбернетики ImенI В.М.Глушкова НАН УкраIни
252022 КиIв 22, проспект АкадемIка Глушкова, 40