

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

На правах рукопису

КНИШ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА АПАРАТУРНИХ ЗАСОБІВ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ

05.13.06 — Автоматизація наукових досліджень

Автореферат дисертації
на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

004



00743823 (R)

Робота виконана в Харківському
університеті радіоелектроніки

Науковий керівник - доцент А.І.Тесленко.

Офіційні опоненти :

- доктор технічних наук, професор В.М.Чинков;
- кандидат технічних наук, доцент М.М.Корабльов.

Провідна організація - НВО "Метрологія".

Захист дисертації відбудеться "26" грудня 1996 р.
о _____ годині на засіданні спеціалізованої ради К02.25.06
Харківського державного технічного університету радіоелектроніки
(310786, Харків, пр. Леніна 14, ХДТУРЕ, ауд. N 13).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Автореферат разісланий "21" листопада 1996 р.

Відгуки на автореферат (в двох примірниках, з супровідним
листом) прохасмо направляти за адресою : 310786, Харків,
пр. Леніна 14, ХДТУРЕ. Вченому секретареві спеціалізованої ради
К02.25.06.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор технічних наук, професор

Е. О. Дедіков

Актуальність теми. Сучасний стан розробки, дослідження, виробництва і експлуатації радіотехнічних та радіоелектронних систем, автоматизованих метрологічних систем і гнучких автоматизованих виробництв надає необхідність великої кількості засобів вимірювань і засобів їх метрологічної та інформаційної підтримки. При цьому значно зросли вимоги до точності, вірогідності і швидкості одержання і обробки вимірвальної інформації. Помітно збільшився обсяг вимірів з одноманітними операціями і операціями, що повторяться (в процесі регулювання і контролю параметрів в технологічних процесах, при повірці або атестації засобів вимірювань та контролю і т. п.). При вимірі параметрів складних об'єктів часто стають необхідними аналіз і швидка обробка великої кількості інформації.

Зазначені чинники обумовили необхідність створення нових методів і засобів, що дозволять автоматизувати процеси одержання, обробки, передачі і збереження вимірвальної інформації. При цьому на сьогодні виділилися такі напрямки автоматизації інформаційно-вимірвальних процесів :

- опрацювання автоматизованих мікропроцесорних вимірвальних приладів і мір;
- розробка автоматизованих комплексів приладів і установок (наприклад, для автоматизованої повірки або калібровки засобів вимірювань (ЗВ));
- опрацювання вимірвально-обчислювальних комплексів (ВОК), з'єднаних різноманітні ЗВ в єдину гнучку вимірвальну систему (ГВС) на основі приладового інтерфейсу;
- опрацювання інформаційно-вимірвальних систем, призначених для надання вимірвальної інформації, перетворення, передачі, об-

робки і формування керуваних впливів для складних об'єктів, технологічних процесів, виробництв;

- опрацювання комп'ютерно-вимірвальних систем (КВС), об'єднуючих вимірвальні, обчислювальні і керувачі засоби на власній мінімікро-ЕОМ.
- створення інформаційних баз даних і знань по метрології та вимірвальній техніці для оперативного навчання і консультацій у галузі розробки, застосування і ремонту складних автоматизованих засобів вимірювань і гнучких автоматичних систем;
- дослідження і опрацювання нових засобів подання, збирання, передачі і обробки вимірвальної інформації в реальному масштабі часу;
- синтез, аналіз і застосування нових алгоритмів проведення вимірів в ГВС, алгоритмів автоматичної повірки і калібровки ЗВ, взагалі процедур, що підвищують швидкість, точність і вірогідність метрологічних досліджень.

Нараду з описаними вище задачами актуальною є проблема опрацювання і утворення систем дистанційного проведення вимірів, контролю, повірки або калібровки ЗВ, а також систем дистанційного навчання, що базуються на діючих інформаційно-телекомунікаційних мережах. Основні напрямки тут такі :

- 1) розробка нових методів, програмних і апаратних засобів дистанційної розподіленої автоматизованої повірки ЗВ;
- 2) опрацювання, дослідження і практичне використання систем дистанційної розподіленої повірки ЗВ;
- 3) розробка нових ЗВ, призначених для роботи в таких системах, і процедур, що забезпечують автоматичне виконання збереження і контролю результатів повірки, контролю і корегування міжповірочного інтервалу;
- 4) опрацювання інформаційно-вимірвальних систем для дистанційно-

го навчання студентів і персоналу метрологічних лабораторій техніці виконання метрологічних робіт.

Такі гнучкі автоматизовані метрологічні системи (ГАНС) створять основу автоматизації виробничих процесів і наукових досліджень. Це і визначає актуальність теми дисертаційних досліджень.

Метою дисертаційної роботи є опрацювання, дослідження і практичне застосування нових методів, апаратних і програмних засобів для гнучких метрологічних систем, що дозволять здійснити якісний стрибок в підвищенні автоматизації ГАНС і підвищити ефективність проведення вимірвального експерименту.

Задачі досліджень :

1. Запропонувати структуру ГАНС нового рівня автоматизації, в яку повинні бути включені нові програмно-апаратні елементи, що дозволять понад ефективно проводити "обчислювальний вимірвальный" і "фізичний" експерименти при проведенні метрологічних досліджень.

2. Запропонувати структурні схеми, методи і алгоритми для автоматизованих систем вимірвань енергетичних параметрів електромагнітних коливань, для автоматизованих систем повірки і атестації засобів вимірвань.

3. Дослідити динамічні процеси в автоматизованих системах виміру енергетичних параметрів е/м коливань тепловим методом, установити функціональні зв'язки між їх технічними характеристиками і параметрами структурних елементів, запропонувати і випробувати оптимальні по точності та швидкодії алгоритми, функціональні та алгоритмічні схеми автоматизованих систем.

4. Розробити систему вимог до програмного забезпечення ГАНС нового рівня автоматизації. Розробити пакет програм для проведення

метрологічних досліджень.

5. Розробити, випробувати і запровадити в метрологічних лабораторіях і в навчальному процесі експериментальні взірці гнучких автоматизованих метрологічних систем нового рівня автоматизації.

6. Розробити інформаційно-вимірвальні системи для навчання персоналу метрологічних лабораторій і студентів роботі із приладовим інтерфейсом і для логічної діагностики системи приладового інтерфейсу.

Методи досліджень : експериментальні, аналітичні, чисельні при моделюванні на ЕОМ та ймовірно-статистичні при аналізі похибок розроблених приладів.

Наукова новизна :

1. Запропонований новий рівень автоматизації експериментальних метрологічних досліджень, який базується на концепції "віртуальних інструментів" і застосуванні інтелектуальних модулів для ідентифікації динамічних характеристик об'єкту вимірів і датчиків і проведення врівноваження фізичної величини, що вимірюється, з величиною взірцевої міри.

2. Розроблені на основі теорії автоматичного управління і теорії інваріантності оптимальні по параметрам точності і швидкодії функціональні і алгоритмічні схеми ГАМС для виміру енергетичних параметрів е/м коливань.

3. Розроблена математична модель калориметричного перетворювача в просторі станів, запропоновані і досліджені алгоритми регулювання при врівноваженні потужності НВЧ потужністю постійного струму.

4. Доказана можливість істотного підвищення ефективності проведення атестації цифрових ЗВ за допомогою ГАМС при застосуванні методу динамічного програмування Беллмана.

5. Досліджений і застосований в реальних ГАМС для проведення повірок цифрових ЗВ метод послідовного аналізу Вальда. Доказано підвищення швидкості і вірогідності повірки при застосуванні цього методу. Метод послідовного аналізу застосований для схеми повірки "другого типу", в якій результат виміру повіряемого ЗВ порівнюється з результатом виміру взірцевого ЗВ.

6. Запропонований новий метод дистанційної розподіленої повірки цифрових ЗВ і технічні засоби для його здійснення. Показана можливість підвищення ефективності виконання метрологічних процедур.

Практична цінність роботи. Розроблені, досліджені і апробовані методи і алгоритми підвищення ефективності експериментальних метрологічних досліджень. Розроблені програмні та апаратні засоби, що підвищують рівень автоматизації ГАМС. Створені експериментальні взірці ГАМС, призначені для прецизійних вимірів потужності НВЧ калориметричним методом, повірки та атестації цифрових ЗВ, навчання метрологічного персоналу і студентів техніці виконання метрологічних робіт і роботи з системою приладового інтерфейсу. На розроблений автоматичний прилад для контролю цифрових вимірвальних приладів одержаний патент України.

Реалізація результатів роботи. Всі розроблені взірці ГАМС використовуються в навчальному процесі на кафедрі метрології і вимірвальної техніки ХДТУРЕ в лабораторних практикумах по курсам "Прикладна метрологія" та "Інтелектуальні засоби вимірів". ГАМС для прецизійного виміру потужності НВЧ запроваджена в науково-дослідницькому відділі НДВ-52 Харківського НВО "Метрологія".

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідені на:

- І Українській науково-технічній конференції "Метрологічне забезпечення у галузі електричних, магнітних і радіотехнічних вимірів" (Харків, 1994 р.);
- Міжнародної конференції "Теорія і техніка передачі, прийому і

обробки інформації", присвяченої 100-літтю винаходу радіо (Трапсе, 1995 р.);

- I Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія в радіоелектроніці" (Харків, 1995 р.).

Публікації. По матеріалам дисертації опубліковано 16 друкованих робіт, в тому числі 1 заявка на патент України, 4 статті, тези 7 доповідей на науково-технічних конференціях, 2 методичних вказівки до лабораторних робіт, звіт про ОКР і звіт по НДР.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, укладення, списку джерел, що використалися, і додатків, викладена на 210 сторінках і ілюстрована 54 малюнками і 2 таблицями. Основний текст дисертації займає 164 сторінок, малюнки - 50 сторінок, таблиці - 2 сторінки, список літератури з 43 найменувань - 7 сторінок, додатки - 53 сторінки.

Основні положення, що виносяться на захист :

1. Застосування концепції "віртуальних інструментів" і інтелектуальних модулів урівноваження дозволило підвищити рівень автоматизації експериментальних метрологічних досліджень, розробити автоматизовані метрологічні системи, що володіють "істинною" гнучкістю і універсальністю.

2. Використання засобу динамічного програмування Беллмана забезпечило істотне підвищення ефективності проведення автоматизованої атестації ЗВ із застосуванням ГАМС.

3. Реалізація методу послідовного аналізу Вальда дозволила при заданій вірогідності підвищити на 20 - 30 % швидкість автоматизованої перевірки цифрових ЗВ.

4. Розробка динамічної моделі калориметричного перетворювача в просторі станів, структурно-параметрична оптимізація контурів регулювання і застосування спеціальних алгоритмів урівноваження дозволили більше ніж в 2 рази підвищити швидкість виміру

потужності НВЧ.

5. Застосування методів ТАУ і теорії інваріантності дозволило розробити оптимальні по параметрам точності і швидкодії функціональну і алгоритмічну структури ГАМС прецизійного виміру потужності НВЧ.

6. Запропонований метод автоматизованої дистанційної розподіленої повірки підвищує ефективність експериментальних метрологічних досліджень.

7. Розробка автоматичного приладу для контролю цифрових вимірвальних приладів дозволила перейти на автоматичну "безпаперову" технологію при повірці ЗВ, контролі і корегуванні міжповірочного інтервалу, виключити вплив суб'єктивних чинників на вірогідність повірки і довести вірогідність повірки до рівня, близького до одиниці.

ЗМІСТ РОБОТИ

В вступі обгрунтована актуальність теми досліджень; сформульовані ціль і задачі досліджень; призведені основні положення, що виносяться на захист.

В першому розділі надана характеристика рівня автоматизації сучасних метрологічних досліджень. Проведений аналіз відомих робіт, присвячених дослідженню гнучких автоматизованих метрологічних систем (ГАМС). Обгрунтовані задачі, що необхідно вирішити для створення метрологічних систем нового рівня автоматизації, включаючи опрацювання і застосування нових методів і програмно-апаратних засобів для підвищення ефективності (точності, швидкості, вірогідності, рівня автоматизації, рівня взаємодії "Людина - ЕОМ" і "ЕОМ - вимірвальне устаткування") метрологічних досліджень. Розроблені вимоги до технічних засобів, методичного і

програмного забезпечення ГАМС сучасного рівня автоматизації. Розглянута функціональна специфікація "віртуальних інструментів" як програмного компоненту ГАМС і інтелектуальних модулів врівноваження як структурних елементів гнучких автоматизованих метрологічних систем. Розглянуті завдання, які необхідно вирішити для створення високоефективних сучасних метрологічних систем для виміру енергетичних параметрів електромагнітних коливань, повірки і атестації цифрових засобів вимірів, систем дистанційної розподіленої повірки і атестації ЗВ, дистанційного навчання студентів і персоналу метрологічних лабораторій техніці проведення метрологічних досліджень на сучасному рівні автоматизації.

В другому розділі досліджена гнучка автоматизована метрологічна система для прецизійного виміру потужності НВЧ, обґрунтовані принципи утворення системи виміру потужності нового рівня автоматизації. Запропоновані структури і алгоритми для прискорення процесу врівноваження потужності НВЧ потужністю постійного струму. Структура ГАМС проаналізована із точки зору теорії автоматичного управління. Теоретично і експериментально досліджені динамічні процеси в вимірвальній системі, установлені функціональні зв'язки між її технічними характеристиками і параметрами структурних елементів. На основі принципу інваріантності розроблена оптимальна по параметрам точності і швидкодії структура системи автоматичного врівноваження.

Для автоматизації процесу виміру потужності НВЧ на постійному струмі запропонований модульний принцип, який припускає створення вимірвальної системи з окремих структурних елементів (модулів), що виконують певні функції в системі. Так в структуру автоматизованої системи разом з керувчим модулем (керувчою ЕОМ) і компарірувчим модулем (для виділення сигналу разугодження між величиною, що вимірюється, і величиною зірцевої міри) запроваджені

ний інтелектуальний модуль врівноваження, що виконує процедуру швидкого і точного врівноваження величини, що вимірюється (потужності НВЧ), з величиною зріцевої міри (потужності постійного струму). Модуль врівноваження приймає сигнали від компарірующего модуля, перетворює і опрацьовує їх по заданому алгоритму і виробляє відповідні сигнали, призначені для управління регульованими зріцевими мірами, чи безпосередньо в якості зріцевих сигналів, що порівнюються в компараторі із тими, що вимірюються. Модуль врівноваження виконує автоматичне врівноваження і виробляє сигнали, що інформують керувачу ЕОМ про завершення процесу врівноваження. При цьому безпосереднє обчислення значення величини, що вимірюється, виконується або самим модулем з наступною передачею результату в ЕОМ по стандартному інтерфейсу, або керувачою ЕОМ з використанням зріцевих сигналів модуля врівноваження. Показано привілей такого підходу, який полягає в тому, що при утворенні автоматизованих вимірвальних систем можливо підключення до керувачою ЕОМ декількох контурів вимірів, в складі яких використовуються інтелектуальні модулі врівноваження. В кожному контурі модуль врівноваження налаштовується на вимірвальні перетворювачі, виконує автоматичне врівноваження величини, що вимірюється, із зріцевою мірою і обчислення величини, що вимірюється. Обчислені значення від кожного контуру передаються в керувачу ЕОМ, в функцію якої входить настройка модулів врівноваження на проведення тих або інших вимірів, збирання і збереження масивів інформації.

На основі проведених досліджень встановлено, що інтелектуальний модуль врівноваження повинен складатися з наступних складових частин: керувачого і обчислювального приладу, блоку перетворення сигналу разугодження із компарірующего модуля в цифровий код, блоку формування зріцевих сигналів постійного струму і алгоритмічного блоку, вклячавчого різноманітні алгоритми регулюван-

ня (ПІ, ПІД, регулятори в просторі станів) і алгоритми ідентифікації динамічних характеристик вимірвальних перетворювачів.

В розробленій ГАМС для виміру потужності НВЧ застосований інтелектуальний модуль уврівноваження у вигляді структурного елементу: у вигляді керуючої ЕОМ використана ЕОМ IBM PC/AT з адаптером приладового інтерфейсу для зв'язку з модулем уврівноваження та іншими приладами; у вигляді компаріруючого модулю і датчику застосований стандартний калориметричний перетворювач типу КІМ-10 або КІМ-20 із термоохолоджувачем на елементі Пельтьє. В ГАМС включені елементи системи "віртуальних інструментів", призначені для моделювання, утворення, перевірки і виконання програм "обчислювального вимірвального експерименту" на екрані ЕОМ і проведення фізичного вимірвального експерименту. Програмні компоненти ГАМС складаються з набору елементів структурного програмування, бази даних, розвиненої системи взаємодії "Людина - ЕОМ", гнучкої системи меню і програм-драйверів для підтримки вимірвальної апаратури.

При опрацюванні ГАМС для виміру потужності НВЧ застосований алгоритм виміру із подвійним уврівноваженням потужності: на калориметр подається потужність НВЧ, по контуру охолодження потужність НВЧ уврівноважується потужністю постійного струму, виробляється переохолодження калориметричного перетворювача, перше уврівноваження по контуру нагріву, відключення потужності НВЧ, друге уврівноваження по контуру нагріву і віднімання першого результату виміру з другого. Показано, що вибір такого алгоритму забезпечив, по-перше, виняток систематичних похибок з результату виміру, по-друге, понад точний вимір потужності постійного струму, що виділяється в контурі нагріву, у порівнянні з контуром охолодження, і в третій, можливість автоматизувати процес виміру потужності НВЧ, і, як показано, за допомогою застосування розроб-

лених алгоритмів більше ніж в два рази зменшити час виміру потужності у порівнянні з відомими вимірвальними системами.

Для реалізації алгоритмічного блоку модуля врівноваження проведений аналіз ГАМС як системи автоматичного регулювання. При цьому припускалося, що потужність НВЧ є впливом, що обурює в системі, який необхідно скомпенсувати сигналом постійного струму, а після цього зміряти цей сигнал. Структура ГАМС представлена у вигляді приведених схем контуру охолодження і контуру врівноваження по нагріву. Калориметричний перетворювач представлений як багатополісник з трьома входами ($P_{свч}$, $P_{охл}$, $P_{нагр}$) і одним виходом (напруга термопар), і експериментально визначені коефіцієнти перетворення і передатні функції. Показано, що реальні перехідні характеристики калориметричного перетворювача достатньо добре апроксимуються моделями першого порядку із запізненням.

Для компенсації інерційності калориметричного перетворювача застосований ПІ-закон регулювання. З метою дослідження можливої варіації параметрів регулятора з умови збереження сталості і дослідження часу виходу системи на режим урівноваження по заданому порозу компарювання проведено математичне моделювання перехідних процесів в системі, що складається з інерційної ланки із запізненням та ПІ-регулятора. При моделюванні варіювалися наступні параметри: коефіцієнти передачі пропорційної і інтегральної частин регулятора, постійна інтегрування і час запізнення. Обрані оптимальні по параметрам сталості і часу встановлення настроєчні параметри ПІ-регулятора. Сталість контуру врівноваження при обраних настроєчних параметрах доказана теоретично за допомогою критерію Гурвіца. Параметри калориметричного перетворювача і настроєчні параметри регулятора записані в пам'ять модуля врівноваження і можуть бути викликані оператором при проведенні вимірів.

З метою підвищення точності і швидкодії системи теоретично проаналізована точність контурів врівноваження і проведений апріорний розрахунок похибок. Доказано, що похибка виміру потужності при обраних структурних елементах в діапазоні 1-20 мВт не перевищує 0.3 %. Дані рекомендації по зменшенню похибок. Проведені експериментальні дослідження підтвердили правильність теоретичних розрахунків.

Для подальшого підвищення якості вимірвальної системи (здебільшого з метою зменшення часу врівноваження) запропоновані оптимальні по параметрам точності і швидкодії структури ГАМС і алгоритми врівноваження. Експериментально зняті перехідні характеристики калориметра по контурам нагріву, охолодження і тракту НВЧ і засобом площ одержані їх аналітичні вирази. Показано, що із похибкою не більш 3-5% ці характеристики описуються моделями 3-го порядку із запізненням.

Для управління такими об'єктами застосований ПІД-регулятор, настроєний по критерію симетричного оптимума (критерій застовується для систем, які реагують на вплив, що обурює). Одержані настроєчні параметри ПІД-регулятора. Проведено моделювання перехідних процесів в системі із ПІД-регулятором і показано зменшення часу встановлення і перерегулювання у порівнянні з системою із ПІ-регулятором.

В алгоритмічному блоці модуля врівноваження реалізовані алгоритми регулювання в просторі станів; застосовані регулятор і спостерігач із кінцевим часом встановлення. Для настройки таких регуляторів одержано аналітичний опис рівняння динаміки калориметричного перетворювача в просторі станів. Показано, що застосування такого аналітичного опису і алгоритмів управління має наступні привілеї: зменшення часу врівноваження, можливість понад легкої і швидкої настройки параметрів регуляторів на різноманітні

типи калориметричних перетворювачів.

Для компенсації запізнення калориметричного перетворювача (порядку декількох секунд) запропоновано використати принцип регулятора Ресвіка. В такому регуляторі внутрішній позитивний зворотний зв'язок моделює динаміку об'єкту, і з основного контуру виключається чисте запізнення. Для реалізації такого зворотного зв'язку використана не програмна модель калориметричного перетворювача, а другий ідентичний калориметр із передатною функцією $W(p) = W'(p) \cdot \exp(-pt_0)$, (де $W'(p)$ - дробово-раціональна функція, що характеризує інерційну частину калориметричного перетворювача), рівної передатній функції основного калориметру. Такий підхід забезпечив поліпшення динамічних характеристик системи, бо система із таким регулятором дуже критична до варіацій параметрів об'єкту і зворотного зв'язку, а точно реалізувати програмну модель калориметру неможливо.

Подальше підвищення точності в сталих і перехідних режимах і зменшення часу виміру потужності здійснено за допомогою застосування принципу компенсації впливу, що обурює (потужності НВЧ), шляхом інваріантності системи до впливу, що обурює. Інваріантність досягнута введенням в систему приладу, що компенсує, сигнал якого діє на вихід зі знаком, супротивним знаку впливу обурення. У вигляді такого приладу застосований третій калориметричний перетворювач. Потужність НВЧ подається одночасно на два калориметри, один з яких є одночасно об'єктом управління і датчиком розумового, а другий служить для передачі обурення на вхід регулятора. Це забезпечило, по-перше, поліпшення динамічних характеристик системи і, як слідство, зменшення часу врівноваження; по-друге, підтримку вимірального калориметра при постійній температурі, що дозволило підвищити точність вимірів.

Таким чином, згідно з алгоритмом виміру при врівноваженні

потужності НВЧ поліпшення якості перехідних процесів по контуру охолодження досягнуто шляхом введення інваріантності системи до потужності НВЧ, по контуру нагріву шляхом застосування зворотного зв'язку, моделюючого динаміку калориметричного перетворювача.

Для зменшення часу другого врівноваження по контуру нагріву запропонований алгоритм, що практично повністю виключає друге врівноваження при збереженні прийнятого алгоритму вимірів. Його принцип укладається в наступному : по відомим коефіцієнтам перетворення, статичним характеристикам і величині переохолодження калориметричного перетворювача вираховується потужність постійного струму, яку необхідно подати на нагрівач, щоб зробити друге врівноваження. Після цього ця потужність при необхідності (при неточному визначенні параметрів калориметру) корегується регуляторами і вимірюється її точне значення. Потужність постійного струму для другого врівноваження в N разів перевищує потужність при першому врівноваженні. Для коефіцієнту N знайдено наступне співвідношення :

$$N = \frac{P_{н2}}{P_{н1}} = \sqrt{\frac{1+b}{b}}$$

де b - відносна величина переохолодження калориметричного перетворювача.

Експериментальні дослідження підтвердили високу якість системи врівноваження, в якій застосовані запропоновані структури і алгоритми.

В третьому розділі проаналізовані відомі методи автоматизованої повірки цифрових ЗВ, реалізована система автоматизованої повірки ЗВ з використанням методу послідовного аналізу Вальда, експериментально доказано підвищення швидкості і вірогідності повірки з використанням даного методу.

Сучасні засоби вимірів постачаються умонтованими процесорами, стандартними приладовими інтерфейсами, що дає можливість включати їх в склад гнучких автоматизованих метрологічних систем. Тому обов'язкова процедура періодичної повірки таких ЗВ повинна бути автоматизована і забезпечена спеціальними методами і алгоритмами, що підвищують її вірогідність і зменшують час повірки.

Для усунення впливу методичної похибки квантування при повірці високочутливих цифрових ЗВ запропоновано використати метод послідовної перевірки статистичних гіпотез (метод Вальда). Суттєвість методу стосовно повірки ЗВ укладається в наступному: класичне визначення придатності ЗВ (в кожній контрольній крапці фактичне значення метрологічних характеристик належно бути не більше межі значення, що допускається на ці характеристики) замінено "ймовірним" визначенням: придатним вважається ЗВ, у якого в усіх контрольних крапках імовірність події "бран" не перевищує межі ймовірності, що допускається. Повірка укладається в прийнятті чи відхиленні гіпотези про придатність ЗВ. Для цього використовуються значення приймального і бракувального чисел, які обчислені з урахуванням того, що розподіл імовірностей події "успіх" є біноміальним. Якщо число похибок, що вийшли за контрольний допуск, менше приймального числа, приймається гіпотеза про придатність ЗВ. Якщо число виходів за контрольний допуск більше бракувального числа, то ЗВ бракується. Якщо число виходів лежить між значеннями приймального і бракувального чисел, то виробляються додаткові виміри.

Показано істотне зменшення (на 20-30 %) часу повірки при реалізації даного методу, бо в основі методу Вальда лежить послідовне чи пошагове обчислення ймовірностей, яке призводиться при кожному спостереженні. Якщо "невдачі" слідує одна за другою, ЗВ бракується за 3 кроки; при придатності ЗВ повірка закінчується за

15 кроків. При цьому метод забезпечує методичну вірогідність повірки від 0.9 до 0.99 залежно від режиму контролю (нормального чи підсиленого).

Розроблена гнучка автоматизована метрологічна система, в якій реалізований даний метод. Реалізовані схеми повірки першого роду (із взірцевою мірою) і другого роду (із взірцевим засобом вимірів). Для зв'язку вимірвальних приладів із керуючою ЕОМ застосований розроблений адаптер приладового інтерфейсу.

При опрацюванні ГАМС застосовані елементи системи "віртуальних інструментів": конфігурування на екрані ЕОМ схеми експерименту, вибір взірцевого і повіряемого ЗВ, завдання повіряємих крапок і меж вимірів; гнучка система меню і допомоги, графічне виведення інформації про результати повірки. База даних включає в себе дані про наявність засобів вимірів і їх характеристики і поповнюється в процесі проведення повірок. Система є виключно гнучкою і слухною в використанні.

На установці проведені експериментальні дослідження, що підтвердили ефективність методу.

В четвертому розділі досліджена автоматизована система для атестації цифрових ЗВ з використанням методу динамічного програмування Беллмана, доказано підвищення ефективності повірки і атестації ЗВ із застосуванням даного методу, проаналізовані результати експериментальних досліджень.

Запропоновано використати для автоматизованої повірки і атестації цифрових ЗВ метод динамічного програмування. Суттєвість методу стосовно процедури повірки укладається в наступному: процес пошуку глобального екстремума похибки ЗВ розбивається на послідовні цикли; в першому циклі визначається перше значення локального максимуму похибки, в кожному наступному циклі здійснюється перебір вхідних кодів з урахуванням коду, в якому зафіксо-

ваний локальний максимум в попереднім циклі; знайдене значення локального максимуму порівнюється із попереднім і вибирається максимальне значення; якщо знайдений локальний максимум менш попереднього, то останній приймається за глобальний, інакше процедура триває.

Показано, що максимальне значення числа переборів вхідних кодів взірцевої міри не перевищує величини $(n+1) \cdot n/2$, де n - розрядність цифро-аналогового перетворювача взірцевої міри.

Проведені експериментальні дослідження на розробленій установці показали, що при 12-розрядній взірцевій мірі число переборів не перевищує 78, на відміну від процедури повного перебору кодів, при якій число переборів дорівнює 4096. Час автоматизованої повірки або атестації в цьому випадку скорочується більше ніж в 50 разів.

В п'ятому розділі запропонований метод ефективною автоматизованою дистанційною розподіленою повірки ЗВ і автоматичний прилад для його здійснення; показано істотне підвищення вірогідності метрологічних процедур.

Масовість повірочних робіт, ускладнення повірочної техніки, підвищення відповідальності вимірів при прийнятті рішень вимагає інтенсифікації цього виду метрологічної діяльності шляхом автоматизації і винятку впливу суб'єктивних чинників.

Існуючим методам повірки належить ряд недоліків: по-перше, наявність "паперових" технологій і вплив суб'єктивних чинників на вірогідність і швидкість повірки ЗВ, по-друге, віддаленість метрологічних лабораторій, в яких необхідно здійснити повірку, від повірочних метрологічних центрів.

Запропонований новий метод дистанційною розподіленою повірки цифрових ЗВ, що укладається в наступному:

- 1) на кожному повірочному робочому місці влаштовується ЕОМ, до

- якої підключені повіряємі ЗВ по системі приладового інтерфейсу;
- 2) всі ЕОМ, включаючи і метрологічні повірочні центри, об'єднуються в інформаційну мережу;
 - 3) при необхідності чергової повірки експериментатор вклучає відповідну програму в ЕОМ; ЕОМ по інформаційній мережі звертається в повірочний центр, звідкільа поступає дозвіл на використання ресурсів і взірцевих засобів центру;
 - 4) по програмі зчитуються результати з повіряемого ЗВ і виконується зрівняння їх з результатами взірцевого ЗВ; результати повірки по мережі передаються в ЕОМ повірочного центру;
 - 5) в повірочному центрі робиться висносок по результатам повірки і по мережі передається інформація про повіряемий ЗВ : "Повірений" або "Повірений до... ";
 - 6) ця інформація поступає в ЕОМ і по системі приладового інтерфейсу записується в пам'ять повіреного ЗВ;
 - 7) на передній панелі ЗВ вклучається індикатор "Повірений"; запускається енергонезалежний таймер всередині ЗВ, який автоматично контролює міжповірочний інтервал;
 - 8) при закінченні міжповірочного інтервалу прилад автоматично сигналізує операторові про необхідність чергової повірки; одночасно по приладовому інтерфейсу дається запит керуючої ЕОМ про необхідність повірки і забороняється робота ЗВ в складі вимірвальної системи; функціонування ЗВ автоматично відновлюється при повторному проведенні вищеперахованих процедур.

Виконання 6-го, 7-го і 8-го пунктів можливо тільки при доданні в структуру ЗВ розробленого автоматичного приладу для контролю цифрових вимірвальних приладів. Наявність в такому приладі блоків автоматичного контролю, корегування і індикації міжповірочного інтервалу дозволила довести вірогідність контролю і вимірів до значень, близьких до одиниці, підвищити рівень автомати-

заці і виключити вплив суб'єктивних чинників на вірогідність повірки ЗВ. При проведенні чергової перевірки метрологічних характеристик ЗВ результати повірки записуються в енергонезалежну пам'ять приладу і завіряються паролем. В пам'ять енергонезалежного таймеру записується дата наступної повірки, на індикатор виводиться повідомлення "Повірений" або "Повірений до... (дата наступної повірки)" і включається енергонезалежний таймер з годинами реального часу, що відраховує міжповірочний інтервал. Автоматично відстежуються показання таймеру і після закінчення міжповірочного інтервалу на індикатор виводиться повідомлення "Неповірений", сигналізую операторові про необхідність чергової повірки і (або) забороняється функціонування приладу до проведення чергової повірки.

По результатам даної і попередніх повірок автоматично корегується міжповірочний інтервал і змінена дата наступної повірки записується в енергонезалежний таймер. Автоматичне корегування і ступення за закінченням міжповірочного інтервалу дозволили істотно зменшити витрати на проведення повірок.

Описані структура запропонованого приладу, алгоритми його функціонування і алгоритми автоматичного контролю міжповірочного інтервалу.

В укладенні сформульовані висновки по результатам досліджень, проведених в дисертаційній роботі.

В додатку і описаний розроблений пакет програм "Експертні системи і бази даних в метрології", включаючий в себе програму для імітаційного моделювання поведінки засобів вимірів і експертну систему по визначенню закону розподілу випадкових величин. Розглянуті загальні питання застосування експертних систем і баз даних в метрології. Показана необхідність використання експертних систем в сучасних метрологічних дослідженнях. Пакет програм напи-

саний на мові п'ятого покоління PROLOG і включає в себе наступні модулі :

- базу даних по законам розподілу випадкових величин;
- механізм логічного висновку з використанням принципів нечіткої логіки, або логіки Заде;
- графічну базу даних по розподілу випадкових величин;
- програми імітаційного моделювання поведіння засобів вимірів в часі з графічним відображенням інформації;
- оболонку по управлінні процесом консультації.

Експертна система маніпулює 19 стандартизованими розподіленнями.

Пакет програм завпроваджений в навчальний процес на кафедрі метрології і вимірвальної техніки ХДТУРЕ.

В додатку 2 представлена інформаційно-вимірвальна система (ІВС) "Вивчення приладового інтерфейсу". Описані установка для вивчення приладового інтерфейсу і порядок роботи на ній. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору схеми зв'язку ПЕОМ з інтерфейсом каналу загального користування по критерію вартість-функціональні можливості. Описаний розроблений адаптер приладового інтерфейсу. Показано, що ІВС "Вивчення приладового інтерфейсу" є складником гнучких автоматизованих метрологічних систем для проведення наукових досліджень в різноманітних галузях науки і техніки. У вигляді прикладу показано впровадження системи в навчальний процес для навчання студентів техніці виконання метрологічних робіт.

В додатку 3 описана розроблена ІВС "Логічна діагностика приладового інтерфейсу". Діагностика несправностей в ГАМС повинна бути також автоматизована. Приведена ІВС є прикладом автоматизації процесу пошуку несправностей в системі передачі вимірвальної інформації. Показаний порядок роботи на установці для логічної

діагностики приладового інтерфейсу. Розроблена ІВС запроваджена в навчальний процес на кафедрі метрології і вимірвальної техніки ХДТУРЕ.

В додатку 4 приведено опис і представлені фотографії розроблених апаратурних засобів :

- інтелектуального модуля врівноваження;
- багатозначної міри постійної напруги;
- адаптера приладового інтерфейсу;
- ІВС "Логічна діагностика приладового інтерфейсу";
- ГАМС для атестації цифрових ЗВ з використанням методу динамічного програмування Беллмана;
- автоматизованої системи перевірки з кількісним і якісним контролем;
- ГАМС для прецизійного виміру потужності НВЧ.

Всі описані апаратурні засоби запроваджені в навчальні і дослідницькі метрологічні лабораторії.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Запропонований новий рівень автоматизації експериментальних метрологічних досліджень, оснований на концепції "віртуальних інструментів" і застосуванні інтелектуальних модулів для ідентифікації динамічних характеристик об'єкту вимірів і датчиків і проведення врівноваження фізичної величини, що вимірюється, з величиною вірцевої міри.

2. Розроблений ділчий вірць інтелектуального модуля врівноваження. Модуль врівноваження випробований при вимірі потужності НВЧ тепловим методом у вигляді приладу, виконуючого процедури швидкого і точного врівноваження потужності НВЧ потужністю постійного струму. Теоретично і експериментально доказано, що похибка

врівноваження не перевищує 0.3 % в динамічному діапазоні 1-20 мВт.

3. Розроблені структури гнучких автоматизованих метрологічних систем нового рівня автоматизації, призначених для виміру енергетичних параметрів е/м коливань, повірки і атестації цифрових ЗВ; розроблено програмне забезпечення для таких систем; розроблені, випробовані і запроваджені в навчальний процес і в метрологічні лабораторії ділчі взірці ГАНС.

4. Розроблена і практично реалізована система вимог до програмного забезпечення ГАНС нового рівня автоматизації. Розроблений пакет програм для метрологічних досліджень, включаючи програми для імітаційного моделювання поведінки засобів вимірів і експертну систему.

5. Досліджені динамічні процеси в автоматизованих системах виміру енергетичних параметрів е/м коливань тепловим методом, установлені функціональні зв'язки між їх технічними характеристиками і параметрами структурних елементів, запропоновані і випробовані оптимальні по точності і швидкодії алгоритми, функціональні і алгоритмічні схеми автоматизованих систем. Запропонований алгоритм для зменшення часу виміру потужності НВЧ методом заміщення на постійному струмі. Запропоновані алгоритми регулювання в просторі станів при врівноваженні потужності НВЧ. Теоретично і експериментально доказано зменшення більше ніж у 2 рази часу врівноваження потужності НВЧ потужністю постійного струму при реалізації запропонованих функціональних схем і алгоритмів.

6. Запропонований новий метод автоматизованої дистанційної розподіленої повірки цифрових ЗВ. Показано підвищення ефективності проведення процедур повірки і атестації. Запропоновано і розроблено оригінальний автоматичний прилад для реалізації даного методу. Розроблено програмне забезпечення для обслуговування цього

приладу. Експериментально доказано повний виняток впливу суб'єктивних чинників на результати повірки і збільшення вірогідності повірки цифрових ЗВ.

7. Для проведення повірок цифрових ЗВ з кодовим виходом застосований метод послідовного аналізу Вальда (послідовної перевірки статистичних гіпотез). Доказано підвищення на 20-30% швидкості повірки з збереженням необхідної вірогідності при застосуванні цього методу. Реалізована схема повірки другого типу, в якій результати вимірів повіряемого ЗВ порівнюються з результатами вимірів взірцевого ЗВ.

8. Доказана можливість істотного підвищення ефективності проведення атестації цифрових ЗВ за допомогою ГАМС при застосуванні методу динамічного програмування Беллмана. Показана можливість автоматизації проведення повірки і атестації ЗВ з використанням даного методу в гнучких метрологічних системах нового рівня автоматизації.

9. Проведений аналіз і запропонована оптимальна по вартості і функціональному призначенню схема зв'язку персональної ЕОМ з інтерфейсом каналу загального користування. Розроблені експериментальні взірці адаптеру приладового інтерфейсу, запропонована і практично реалізована структура програмного забезпечення для роботи з інтерфейсом. Експериментальні взірці адаптеру приладового інтерфейсу запроваджені в навчальний процес наступних навчальних закладів: ХДТУРЕ, Харківська академія залізничного транспорту, а також в метрологічних лабораторіях Харківського НВО "Метрологія" і Харківського центру стандартизації, метрології і сертифікації.

10. Розроблені інформаційно-вимірвальні системи для навчання персоналу метрологічних лабораторій і студентів роботі із приладовим інтерфейсом і для логічної діагностики системи приладового інтерфейсу. Діючі взірці ІВС запроваджені в навчальний процес

університету і в метрологічних лабораторіях.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Книш А.Н., Трунов Е.В. Диалоговая подсистема "Кручение" // Тезисы доклада научно-технической конференции "Графические диалоговые системы в проектировании, управлении обучения". - Москва, 1990 г.

2. Книш А.Н., Трунов Е.В. Диалоговая подсистема "Кинематическое исследование" // Тезисы доклада научно-технической конференции "Графические диалоговые системы в проектировании, управлении обучения". - Москва, 1990 г.

3. Кукуш В.Д., Тесленко А.И., Книш А.Н. и др. Разработка и исследование автоматизированного блока измерительного ваттметра СВЧ // Отчет об ОКР 90-45 гос. рег. № 128390/45, - ХИРЭ, Кукуш В.Д., Харьков, 1991, - 66 с.

4. Книш А.Н., Тесленко А.И. Сопряжение ПЭВМ с магистралью канала общего пользования / Харьковский институт радиоэлектроники. - Харьков, 1992, - 28 с. - Рукопись деп. в УкрИНТИ 14.08.92 № 1237-Ук92.

5. Сопряжение ПЭВМ с магистралью КОП / Книш А.Н., Тесленко А.И. // Стандартные интерфейсы и их применение в радиоизмерительной технике: Учебное пособие / А.И.Тесленко. - К.: УМК ВО, 1992. - 120 с.

6. Сполучення ПЕОМ з магістралями КОП / Книш А.М., Тесленко А.І. // Стандарти інтерфейсів та їх застосування в радіовимірвальній техніці: Навч. посібник / А.І.Тесленко. - К.: НМК ВО, 1992. - 120 с.

7. Патент України N В4200514/2. Автоматическое устройство для контроля цифровых измерительных приборов / А.Н.Книш, А.И.Тесленко, В.В.Редога. - Заявл. 10.02.1994.

8. Книш А.Н., Тесленко А.И. Интеллектуальный модуль уравнивания - структурный элемент гибкой измерительной системы // Тез. докл. I Украинской научно-технической конференции "Метрологическое обеспечение в области электрических, магнитных и радиотехнических измерений". - Харьков, 1994.

9. Книш А.Н., Тесленко А.И., Редога В.В. Автоматическая система поверки с количественным и качественным контролем // Тез. докл. I Украинской научно-технической конференции "Метрологическое обеспечение в области электрических, магнитных и радиотехнических измерений". - Харьков, 1994.

10. Середний В.П., Тесленко А.И., Книш А.Н. Исследование измерительного блока термисторного ваттметра СВЧ // Тез. докл. I Украинской научно-технической конференции "Метрологическое обеспечение в области электрических, магнитных и радиотехнических измерений". - Харьков, 1994.

11. Книш А.Н., Тесленко А.И., Середний В.П. Структурно-алгоритмическая оптимизация режимов уравнивания компенсационных кало-

риметрических ваттметров СВЧ // Тез. докл. международной конференции "Теория и техника передачи, приема и обработки информации", посвященной 100-летию изобретения радио. - Туапсе, - 1995.

12. Книш А.Н., Тесленко А.И., Средний В.П. Реализация метода последовательного анализа Вальда при автоматизированной проверке цифровых СИ // Тез. докл. I Международной научн.-техн. конф. "Метрология в радиоэлектронике". - Харьков, 1995.

13. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Интеллектуальные средства измерений" для студентов дневной формы обучения специальности "Метрология, стандартизация, сертификация" / А.И.Тесленко, А.Н.Книш, В.В.Дегтярев. - Харьков, ХГТУРЭ, 1996 г. - 56 с.

14. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Надежность и диагностика РЭС" для студентов всех форм обучения специальностей "Конструирование и производство радиоаппаратуры" и "Конструирование и производство ЭВА" / А.Б.Егоров, А.Н.Книш. - Харьков, ХГТУРЭ, 1996 г. - 52 с.

15. Книш А.Н., Тесленко А.И. Сопряжение ПЗВМ с интерфейсом канала общего пользования // Радио. - 1996. - N 3.

16. Книш А.Н., Тесленко А.И., Балагула Р.И., Шуклин Д.Е., Педченко С.В. Разработка информационных и программно-аппаратных средств метрологического обеспечения производства радиоэлектронной аппаратуры и учебного процесса // Отчет по НИР 193/2 гос. рег. N 0193U039124, - ХГТУРЭ, Тесленко А.И., Харьков, 1996, - 93 с.

Книж А.Н. -А. Разработка методов и аппаратурных средств для повышения эффективности экспериментальных метрологических исследований.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизация научных исследований. Харьковский государственный технический университет радиозлектроники. Харьков. 1996.

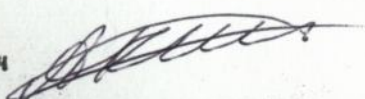
В диссертации разработаны методы, программные и аппаратурные средства для автоматизации метрологических работ и экспериментальных метрологических исследований. Разработаны и исследованы гибкие автоматизированные метрологические системы для измерения мощности СВЧ тепловым методом, поверки и аттестации цифровых средств измерений, дистанционной распределенной поверки СИ, а также приведены результаты экспериментальных исследований. Предложены оптимальные по точности и быстродействию структурные схемы и алгоритмы функционирования таких систем. Предложенные методы и аппаратурные средства будут полезны при разработке гибких автоматизированных систем для проведения метрологических работ на современном уровне автоматизации.

Knysh A.N. -A. The creation of methods and hardware means for increase of efficiency of experimental metrological researches.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.13.06 - automatization of scientific researches. Kharkov state technical university of radioelectronics. Kharkov. 1996.

In the dissertation methods, programm and hardware means for automatization of metrological work and experimental metrological researches are developed. Are developed and investigated flexible automated metrological system for measurement of power a microwaves by a thermal method, calibration and certification of digital means of measurements, remote distributed calibration, and also results of experimental researches are indicated in the dissertation. Are offered optimum on accurecy and speed of the block diagrams and algorithms of functioning of such systems. The offered methods and the hardware means will be useful at development of flexible automated systems for carry out of metrological work at a modern level of automatization.

Ключові слова : засіб вимірювань, гнучка автоматизована метрологічна система, точність вимірювань, автоматизація, динамічні процеси, потужність НВЧ, метрологічні дослідження, інтелектуальний модуль врівноваження, повірка, атестація, віртуальні інструменти, база даних, експертна система, швидкість, впродігність, динамічне програмування, послідовний аналіз, математичне моделювання, інформаційно-вимірвальна система.

Книш Андрій Миколайович 

Розробка методів та апаратурних засобів для підвищення
ефективності експериментальних метрологічних досліджень :
Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук. - Харків. 1998 - 30 с.

Відповідальний за випуск Е.О.Дедіков

Підписано до друку 06.ІІ.96 р.

Об'єм 2 др. в.

Обл.-друж. в. - 1,75

Формат паперу 60x84 1/16

Тираж 100 пр.

Зам. 22/299

Друкарня ХВУ, м. Свободи, 6

385922

AB 36.267