

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Щапов Павло Федорович

УДК 621.317.1

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ ТА
ДІАГНОСТИКИ СТОХАСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ’ЄКТІВ РІЗНОЇ
ФІЗИЧНОЇ ПРИРОДИ**

**Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Кондрашов Сергій Іванович,
Національний технічний університет „Харківський
політехнічний інститут”, м. Харків, завідувач
кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і
систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Володарський Євген Тимофійович,
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, професор кафедри автоматизації
експериментальних досліджень

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Большаков Володимир Борисович,
Національний науковий центр „Інститут метрології”
Держспоживстандарту України, м. Харків, головний
науковий співробітник науково-дослідної
лабораторії-3

доктор технічних наук, професор
Петренко Олександр Миколайович,
Дніпропетровський національний університет,
м. Дніпропетровськ, декан фізико-технічного
факультету

Захист відбудеться “ 8 ” “ жовтня ” 2009 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 при Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “ _____ ” _____ 2009 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Глоба С.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення вірогідності контролю й діагностики об'єктів з випадковими параметрами (сільськогосподарська сировина, технологічні процеси, енергетичне устаткування і т.д.) – це комплексне наукове завдання, рішення якого залежить як від підвищення точності перетворень первинної інформації в логічні виводи, так і від правильності вибору імовірнісної моделі контрольованого параметра, максимально адекватної фізичним особливостям об'єкта.

Використання тестових, структурно-алгоритмічних методів підвищення вірогідності контролю статичних об'єктів дозволяють коригувати границі допускових інтервалів за рахунок адаптивних процедур збільшення точності вимірів, але при нормованій невизначеності контрольованих величин та параметрів. Великий внесок у розвиток таких методів внесли вчені Є.Т. Володарський, П.П. Орнатський, В.О. Поджаренко, Б.І. Стадник, Ю.М. Туз, В.В. Литвих, Ю.О. Скрипник, В.Д. Циделко, Е.М. Бромберг, К.Л. Куликовський.

Вдосконалювання методів підвищення вірогідності з урахуванням імовірнісних властивостей контрольованих випадкових сигналів, особливо при неруйнівному контролі й моніторингу динамічних об'єктів, висвітлено в працях таких вчених як В.П. Малайчук, О.М. Петренко, А.В. Мозговий, С.М. Маєвський, М. Бассвіль, А. Банвенист, М.П. Цапенко.

Розроблені на теперішній час методи є ефективними за наявності певних обмежень на класи об'єктів контролю і моделей перетворення первинної інформації в логічні рішення:

- невизначеність контрольованих параметрів нормативно обмежена; обов'язковим є наявність зразка об'єкта або фізично реалізованих моделей контрольованих величин із заданими ймовірнісними властивостями;
- тип перетворення контрольованих величин регламентований класами лінійних або лінеаризованих моделей;
- розмірність вектору контрольованих величин та сигналів нормативно регламентована;
- кількість рішень при контролі й діагностиці – не більше двох, у рамках параметричних тестів на значимість; багатоальтернативне тестування з використанням складних гіпотез – відсутнє.

Для об'єктів зі стохастичними параметрами практично неможливо не тільки створення зразків, але й фізично реалізованих моделей контрольованих величин. Більше того, виникають труднощі з побудовою імовірнісних моделей таких об'єктів через неповноту інформації з видів їхніх станів. Це різко обмежує можливості використання існуючих методів підвищення вірогідності контролю й діагностики, і створює проблему розробки нових імовірнісно-статистичних та інформаційних методів підвищення вірогідності для об'єктів технологічного й промислового призначення, якість і працездатність яких можуть змінюватися, як в часі, так і через вплив випадкових факторів.

Таким чином, наукова й прикладна проблема підвищення вірогідності контролю й діагностики об'єктів зі стохастичними параметрами, або параметрами, стохастично зв'язаними, з контрольованими величинами, є актуальною й має важливе значення для розвитку теорії й методів неруйнівного контролю та функціональної діагностики і визначає напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є результатом виконання тематики кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології і системи» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»). Здобувач, як виконавець брав участь у науково-дослідних держбюджетних роботах МОН України: «Дослідження наукових проблем метрологічного забезпечення динамічного бездемонтажного самоконтролю інтелектуальних інформаційно-керуючих систем» (ДР № 0103U001539); «Підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем засобами бездемонтажного тестового контролю» (ДР № 0106U001514); «Розробка методів прийняття рішень в умовах неповної інформації про об'єкт керування» (ДР № 0103U001511); «Розробка теоретичних основ створення інформаційно-діагностичного комплексу для контролю ізоляції об'єктів електроенергетических систем» (ДР № 0103U001521); «Розробка теоретичних засад створення інформаційно-діагностичного комплексу для оцінювання стану об'єктів електроенергетичної системи» (ДР № 0106U001490). Здобувач, як виконавець брав участь в держбюджетних роботах Академії медичних наук України: «Органна і поліорганна недостатність як основна причина несприятливих наслідків при тяжкій політравмі та інших механічних ушкодженнях» (ДР № 0100U003484, шифр теми ВН.1.1999, Харківський інститут загальної та невідкладної хірургії); «Розробка підходів до профілактики і лікування поліорганної недостатності в умовах травматичної хвороби на підставі вивчення шлунково-шишкових дисфункцій і імунних зрушень» (ДР № 0102U003237, шифр теми ВН.2.2002, ХІЗНХ). Здобувач як виконавець брав участь в виконанні НДР відповідно до угод: № 61459 від 04.07.2005 р. про наукове співробітництво між НТУ «ХПІ» та Харківською медичною академією післядипломної освіти (Харків, 2005 р.); № 61543 від 01.02.2006 р. про наукове співробітництво між НТУ «ХПІ» та науково-виробничим підприємством «Екструдер» (Харків, 2006 р.).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування теоретичних основ розробки та впровадження методів підвищення вірогідності багатопараметричного контролю й діагностики об'єктів, стохастичність параметрів яких обумовлена випадковим факторним впливом і обмеженістю первинної інформації про фізичні властивості об'єктів.

Для досягнення мети в роботі поставлені такі завдання:

– проаналізувати інформаційні моделі стохастичного впливу параметра контролю на контрольовані величини з урахуванням виду статистичної неоднорідності останніх;

- розвинути метод тестування по малих вибірках, але із заданою вірогідністю, стохастичних контрольованих величин на їхню відповідність рівням нормативної статистичної неоднорідності;

- удосконалити інформаційну теорію вимірювального багатопараметричного контролю за стохастичними контрольованими величинами і розробити методи відбору максимально інформативних підмножин цих величин;

- розвинути теорію аналізу похибок для моделей перетворення стохастичного параметра у випадкові контрольовані величини при відсутності обмежень на вид перетворення;

- розробити теорію й метод оптимального, за максимумом вірогідності, багатоальтернативного розпізнавання рівнів параметра контролю за вектором стохастичних контрольованих величин, з корекцією допусків інтервалів на контрольовані рівні;

- розвинути теорію виявлення змін властивостей стохастичних сигналів і динамічних систем, у частині багатоальтернативного контролю кількісних стрибкоподібних змін спектральних характеристик сигналів, із заданою вірогідністю контролю різних по ступені змін;

- розвинути теорію контролю й діагностики динамічних об'єктів, з використанням нестационарних за середнім значенням дрейфових стохастичних сигналів; розробити метод одержання надлишкової інформації за складовими залишкової дисперсії сигналів;

- розвинути теорію контролю надійності при параметричних поступових відмовах промислового устаткування, коли контрольовані величини є апріорі невідомими функціями часу й представлені моделями випадкових періодичних послідовностей (часовими рядами) із прогресуючою й стрибкоподібною стохастичною нестационарністю.

Об'єктом дослідження є процес формування невизначеності при одержанні обмеженої первинної інформації про контрольовані параметри, що породжують зниження вірогідності контролю й діагностики.

Предметом дослідження є методи підвищення вірогідності контролю й діагностики стохастичних параметрів об'єктів різної фізичної природи.

Методи дослідження. Теоретичною базою досліджень є системний підхід до вирішення проблеми підвищення вірогідності контролю й діагностики стохастичних параметрів. Для теоретичних узагальнень, аналізу математичних моделей контрольованих величин в умовах обмежень на одержання первинної інформації про ймовірнісні властивості контрольованих параметрів використовувалися методи теорії ймовірностей, багатомірної математичної статистики, теорії випадкових процесів, інформаційної теорії вимірів; для експериментальних досліджень математичних моделей перетворень первинної інформації в максимально вірогідні рішення було використано методи фізичного моделювання контрольованих параметрів, методи статистичного планування багатофакторного експерименту, методи багатомірних опосередкованих вимірювань.

Наукова новизна одержаних результатів:

- уперше розроблений метод тестування із заданою вірогідністю випадкових контрольованих величин на статистичну однорідність їх стохастичного зв'язку з параметром контролю, на основі запропонованої моделі рандомізації рівнів впливаючих факторів. Це дозволяє задавати при тестуванні ймовірності помилок не тільки першого, але й другого роду. Визначено умови вибору рівня контрольованого параметра, що виключають систематичні похибки його перетворення в контрольовані величини в межах допускового інтервалу;
- уперше теоретично обґрунтовано розробку методу інформаційного аналізу поліноміальних функцій перетворення з випадковими коефіцієнтами, коли аргументами є випадкові контрольовані величини. Доведено можливість вибору максимально інформативної підмножини таких величин для багатопараметричного контролю об'єктів зі стохастичними властивостями;
- отримали розвиток методи оцінки точності моделей перетворення стохастичного параметра у випадкові контрольовані величини, на основі запропонованого методу розкладання дисперсії цих величин на систематичну, адитивну й мультиплікативну складові;
- уперше розроблено теорію й метод оптимального, за максимумом вірогідності, багатоальтернативного розпізнавання рівнів параметра контролю за вектором стохастичних контрольованих величин з урахуванням їхньої інформаційної значимості й взаємної кореляції. Запропоновано метод розрахунку допускових інтервалів на контрольовані рівні;
- отримали розвиток методи підвищення вірогідності контролю та діагностики по спектрально-нестационарних контрольованих сигналах, за рахунок стабілізації дисперсій їхніх інформативних параметрів. Розроблено метод розрахунку ширини допускових інтервалів по рівням заданих стрибкоподібних змін нестационарності таких сигналів;
- отримали розвиток методи ймовірнісної функціональної діагностики технологічних об'єктів у задачі підвищення вірогідності контролю нормативних перехідних процесів, на основі запропонованого методу одержання надлишкової інформації за складовими їхньої залишкової дисперсії;
- отримали розвиток методи підвищення вірогідності експлуатаційного контролю промислового устаткування в задачах багатопараметричного контролю якості рідкої ізоляції високовольтних маслонаповнених трансформаторів. Розроблено метод інформаційного аналізу лінійних моделей дисперсійного розкладання реалізацій вектора контрольованих величин, представлених багатомірними часовими рядами. Обґрунтовано можливість підвищення вірогідності за рахунок відбору максимально інформативних складових цього вектора. Розроблено метод планування тривалості періодичного контролю при прогнозуванні, із заданою вірогідністю, стрибкоподібних і дрейфових порушень якості ізоляції.

Практичне значення одержаних результатів: розроблені, для підвищення вірогідності контролю та діагностики, теоретично обґрунтовані методи мають високий ступінь готовності до використання у харчовій, хімічній, маши-

нобудівної промисловості, в електроенергетиці, медицині, оскільки доведені до прикладних методик, формалізованих для вирішення на ПЕВМ і розробки програмного забезпечення.

Основні результати досліджень були впроваджені на підприємствах, машинобудівної промисловості, електроенергетики, медичних закладах України:

- науково-виробниче підприємство «Екструдер» (м. Харків) - для підвищення вірогідності контролю технологічних режимів маслоекстракційних установок «Екструдер ЭК75/1200»;

- Інститут загальної і невідкладної хірургії Академії медичних наук України (м. Харків) – для підвищення вірогідності безперервного контролю функціональних режимів електрохірургічної апаратури;

- міська клінічна лікарня № 26 (м. Харків) – для підвищення вірогідності мікропроцесорної системи функціональної діагностики з використанням не стандартизованих електропотенційних вимірювальних перетворювачів;

- акціонерна компанія «Харківобленерго» (м. Харків) – для підвищення вірогідності експлуатаційного контролю параметрів якості рідкої ізоляції та надійності високовольного маслонаповненого електроенергетичного устаткування під робочою напругою;

- НВО «Політехнік» і Конструкторське бюро машинобудування ім. О.О. Морозова (м. Харків) – для підвищення точності оцінювання рівнів управляючих сигналів та ефективності перетворень первинної інформації для прийняття рішень в системах інформаційного забезпечення тренажерних комплексів бронетанкової техніки;

- результати роботи використовувались у навчальному процесі в НТУ «ХПІ», (м. Харків) – для викладання дисципліни «Математичні задачі енергетики» для навчання за фахом 7.090602, а також при підготовці магістрів і аспірантів.

Отримані теоретичні результати можуть бути використані для підвищення вірогідності: експрес-контролю складу сипкої сільськогосподарської, фармацевтичної сировини зі складної гранулометричною структурою; функціональної вібродіагностики дизельних двигунів підвищеної потужності; контролю аварійних ситуацій діючого енергетичного устаткування при поступових і дефектах ізоляції, що швидко розвиваються; неруйнівного контролю матеріалів з розпізнаванням структури матеріалів і видів дефектів.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати отримано здобувачем самостійно. Теоретично обґрунтовано метод тестування контрольованих величин на наявність чи відсутність в них статистичної неоднорідності відтворення рівня контрольованого параметра. Одержано теоретичні результати дослідження впливу невизначеності відтворення рівнів контрольованих величин на зміщення та випадкову невизначеність регресійної моделі багатопараметричного перетворення. Досліджено методи аналізу та оцінювання кількості очікуваної інформації при параметричній невизначеності функцій багатопараметричного перетворення. Отримано аналітичні співвідношення для адитивної та мультиплікативної складових невизначеності первинного перетворення, при

застосуванні нестандартних зразків рівнів параметра контролю. Розроблено теоретичні основи та метод синтезу алгоритмічних перетворень випадкового вектора контрольованих величин для розпізнавання рівнів параметра контролю. Доведено можливість зменшення невизначеності багатопараметричного контролю за рахунок об'єднання функціонального та алгоритмічного перетворень стохастичних контрольованих величин. Обґрунтовано можливість синтезу інформативних параметрів стохастичних контрольованих сигналів, у вигляді модифікованих статистик накопичувальних сум зі стабілізованими дисперсіями, для вилучення мультиплікативної складової невизначеності. Доведено, теоретично, можливість формування максимально інформативної системи контрольованих величин, які представлені нестационарними часовими рядами; розроблено метод оцінювання тривалості контролю прогресуючих порушень із заданою вірогідністю.

Апробація результатів дисертаційної роботи відбувалася на XI, XII, XIII і XIV міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (Харків, 2003-2006 рр.); міжнародній науково-технічній конференції “Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления. Датчик-99” (Харків, 1999 р.); 6-тій науково-технічній конференції “Сучасні інформаційні і енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. СИЕТ-99” (Харків, 1999 р.); 3-ій промисловій конференції “Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу в сучасних умовах” (Славське – Карпати, 2003 р.); 10-ій ювілейній міжнародній науковій конференції “Теория и техника передачи, приема и обработки информации” (Харків – Туапсе, 2004 р.); 2-ому міжнародному радіоелектронному форуму “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития. МРФ-2005” (Харків, 2005 р.); науково-технічних семінарах “Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні та прикладні аспекти” (Харків, 2005, 2006, 2007 рр.); V-й міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія та вимірювальна техніка. Метрологія-2006” (Харків, 2006 р.), VI-й міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія та вимірювальна техніка. Метрологія-2008” (Харків, 2008 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 40 робіт, серед них: 1 монографія в співавторстві; 29 праць у фахових наукових виданнях ВАК України, 2 патенти України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків та 6 додатків. Повний обсяг дисертації складає 369 сторінок, з них: 21 рисунок по тексту; 6 рисунків на 4 сторінках; 35 таблиць по тексту; 6 додатків на 68 сторінках; 248 найменувань використаних літературних джерел на 28 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено характеристики наукової новизни та практичного значення отриманих результатів і їх впровадження.

Перший розділ роботи присвячений аналізу проблеми підвищення вірогідності контролю та діагностики об'єктів зі стохастичними параметрами та вибору напрямку наукових досліджень.

Проведено огляд сучасного стану та проаналізовано тенденції розвитку методів підвищення вірогідності технічного контролю промислової продукції, діагностики та моніторингу технічного стану складних об'єктів. Встановлено, що існуючі методи базуються на використанні структурної, інформаційної та часової надмірності при обмеженнях на невизначеність дестабілізуючих факторів або властивостей об'єктів контролю. Задачу розробки методів підвищення вірогідності контролю об'єктів зі стохастичними параметрами повністю не вирішено, особливо коли неможливо відтворення зразкових об'єктів або фізично реалізованих моделей контрольованих величин. Зроблено висновок, що використання існуючих методів підвищення вірогідності без використання підходів до ймовірносно-статистичного аналізу кількісних характеристик (контрольованих величин) створює проблему втрати інформації на етапи навчання системи контролю та діагностики і виникнення неусувної методичної складової ймовірності помилкових рішень.

Запропоновано розглянути задачу підвищення вірогідності контролю та діагностики об'єктів зі стохастичними властивостями (сипкі матеріали складної біохімічної структури, технологічні процеси, старіюче промислове та енергетичне обладнання) на базі інформаційного аналізу перетворень контрольованих величин ($Y_1, \dots, Y_n$) у рішення щодо рівня параметра контролю (Y), з урахуванням статистичної неоднорідності первинної інформації. Таке урахування є обов'язковим як на етапі навчання, так і при прийнятті рішень системою контролю або діагностики. Неоднорідність інформації – результат стохастичного факторного впливу, де час (t) також є дестабілізуючим фактором.

Загальна модель будь-якої контрольованої величини має вигляд

$$Y = Y_0 + Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n, \quad (1)$$

де Y_0 – основна інформаційна складова, що характеризує прямий вплив Y та часу на l -ту контрольовану величину; Y_1 – додаткова інформаційна складова, що з'являється при урахуванні множинної кореляції між Y_0 та іншими ($Y_2, \dots, Y_n$) контрольованими величинами, Y_2 та Y_3 ; Y_n – залишкова складова, що не несе інформації, окрім випадку, коли існує можливість її розкладання, за рахунок ускладнення імовірнісної моделі об'єкта контролю.

Доведено, що кількість очікуваної інформації щодо рівня параметра контролю Y , яку одержано при функціональному перетворенні усіх k контрольова-

них величин, залежить від кількості n відтворень кожного з m рівнів параметра дисперсій контрольованих величин, та зміщень коефіцієнтів моделі перетворення

$$, \quad (2)$$

де Δ – діапазон можливих значень Δ , Δ , усі Δ – однакові для простоти для Δ і усі Δ – однакові для коефіцієнтів перетворення.

Інформаційна модель (2) показує, що збільшити кількість інформації, тобто збільшити достовірність контролю параметра Δ , за рахунок збільшення числа контрольованих величин неможливо без збільшення кількості зразків за кожним із рівнів параметра контролю на етапі навчання, та зменшення систематичних (Δ) і випадкових (Δ) впливів на одержання первинної інформації.

Проведений аналіз умов, які сприяють зменшенню вірогідності контролю та діагностики об'єктів зі стохастичними властивостями виявив відсутність теоретично обґрунтованих методів збільшення вірогідності за рахунок планування процедур навчання систем контролю та діагностики, особливо коли:

- відсутні стандартні зразки параметра контролю або фізично реалізованих моделей контрольованих величин;
- обмежена інформація щодо виду функціонального зв'язку між контрольованими величинами та параметром контролю;
- обмежена інформація, що використовується для навчання системи контролю та діагностики;
- контрольовані величини принципово випадкові, неоднаково інформативні та взаємозалежні.

Другий розділ присвячено дослідженню методів зменшення невизначеності контрольованих величин, які одержано за допомогою первинних перетворювачів, при навчанні системи багатопараметричного контролю складу речовин на нестандартних зразках сипких матеріалів, що відтворюють рівні контрольованого параметра Δ .

Внаслідок неможливості відтворення умов, що гарантують стабільність факторних впливів на функціональний зв'язок між параметром Δ та вихідним сигналом перетворювача (контрольованою величиною Δ), навіть для однакових, по рівням Δ , зразкам, виникає невизначеність величини Δ . Якщо використовують групи зразків (за сортом, наприклад, насіння соняшника, зерна пшениці та ін.), то виникає дискретна неоднорідність у значеннях контрольованих величин. Для тестування значень контрольованої величини Δ на відсутність або наявність фактора дискретної неоднорідності при відтворенні параметра Δ було використано двохфакторну модель компонент дисперсій (випадкова модель), в якій другим фактором був контрольований параметр Δ .

При заданій вірогідності помилок тестування першого (Δ) і другого (Δ)

роду, кількості зразків, відтворюючих з рівнів величини , було одержано нерівність для оцінки кількості груп з зразків

$$, \quad (3)$$

де – дисперсія результатів вимірювання величини , обумовлена взаємодією факторів i ; i – складові дисперсії результатів вимірювання аргументу , обумовлені випадковими і систематичними ефектами відтворення значень величини . Ліву частину нерівності утворює відношення процентних точок центрального -розподілу. Мінімальне значення , що забезпечує ще збереження умови (3) визначає загальну кількість зразків, відтворюючих фіксоване значення контрольованого параметра , при нормативно заданому відношенні рівнів параметру контролю, відтворених зразками, треба збільшувати, щоб зменшити вплив дисперсії в нерівності (3).

Дослідження впливу нелінійності первинних перетворень на точність оцінювання рівнів контрольованого параметра , коли забезпечувалась умова , величин проводилося на моделі первинного перетворення у вигляді структурного співвідношення. Аналіз залишкової дисперсії моделі показав, що мінімальна випадкова похибка оцінювання рівнів величини може бути забезпечена лише на лінійних ділянках рівняння перетворення. Будь-яка нелінійність між контрольованими величинами і відтворюваним зразками параметром (етап навчання) приведе до збільшення похибки вимірювання за рахунок появи систематичної складової.

Для оцінки інформативності контрольованих величин була досліджена їх чутливість до змін рівнів величини . Модель результату вимірювань значень кожної з контрольованих величин залишалася двофакторною моделлю перехресних класифікацій при наявності фактора дискретної неоднорідності.

Інформативність оцінювалася по -статистиці відносин середніх квадратів відхилень по фактору і випадковому залишку моделі. Кількісною характеристикою інформативності була оцінка математичного очікування -статистики, що має функцію нецентрального – розподілу з m ступенів свободи і параметром нецентральності

,

де – групові середні; – загальне середнє результатів вимірювання значень аргументу X ; – оцінка залишкової дисперсії моделі.

Величина α_1 визначається виразом.

Результати досліджень даного розділу дозволили теоретично обґрунтувати планування вимірювальних експериментів на етапі навчання (градуїрування) системи контролю та оцінювати:

- мінімальна кількість груп, які відтворюють, із заданою невизначеністю, рівні контрольованого параметру при заданій вірогідності статистичної однорідності значень контрольованої величини;
- умови вибору відтворених зразками рівнів параметра контролю, що виключають ненормоване збільшення невизначеності первинних перетворень, особливо якщо останні є істотно нелінійними;
- інформативність контрольованих величин стосовно змін рівнів параметра контролю при використанні нестандартних зразків обмеженої кількості.

Третій розділ присвячено дослідженню умов зменшення невизначеності функціональних моделей багатопараметричного перетворення в умовах невизначеності коефіцієнтів перетворень та контрольованих величин.

Розглянуто 5 варіантів моделі функціонального перетворення у вигляді лінійної множинної регресії

$$, \quad (4)$$

де $\hat{y}$ – вихідна функція оцінка рівня параметра контролю, а x – змінні моделі (регресори, або контрольовані величини): модель з випадковими регресорами; модель з помилками в змінних; структурна модель; модель регресії другого роду; модель контрольованих, по математичному очікуванню, змінних.

Доведено, що якщо змінні моделі (4) вимірюються з похибками, то питання адекватності цієї моделі – це питання зниження залишкової дисперсії результату перетворення.

Проведено інформаційний аналіз моделі (4) з випадковими змінними. Кількість очікуваної вимірювальної інформації про значення контрольованої величини визначається виразом

де $\det L$ – детермінант матриці вибірових коваріацій між регресорами; L_{ij} – алгебраїчне доповнення L_{ji} ; $\hat{L}_{ii}$ – скоригований коефіцієнт детермінації; n – кількість нестандартних зразків, що використовують при навчанні (оцінці коефіцієнтів $\hat{L}_{ii}$).

Якщо забезпечити незміщеність відтворених нестандартними зразками значень величини Y (на основі висновків розділу 2 дисертації), то кількість очікуваної вимірювальної інформації є функцією кількості регресорів, причому тільки для одного єдиного їх поєднання, кількість інформації є максимальною:

Другий додаток виразу в квадратних дужках можна використовувати як цільову статистичну функцію оптимізації моделі (4) побічно вимірювально-го перетворення по максимуму очікуваної інформації.

Аналітичні дослідження показали, що цільова функція більш чутлива до зміни кількості регресорів, ніж скоригований коефіцієнт детермінації. Це особливо добре виявляється при високій апіорній невизначеності регресорів моделі (4), коли додавання чергового регресора слабо позначається на зміні.

Для дослідження складових невизначеності моделей перетворення з випадковими коефіцієнтами використовувався дисперсійний аналіз g груп лінійних регресій, побудованих кожна по n , g , двовимірних наглядів. Для кожного спостереження використовувалося n багатократних вимірювань.

Модель результату вимірювання значення аргументу при заданому значенні Y досліджувалася як зворотна регресія:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

де β_0, β_1 – коефіцієнти моделі; ϵ – відхилення від лінійності; ϵ – випадковий залишок ($\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$).

Ця модель дозволяє перевірити лінійну гіпотезу, яку можна розбити на декілька частин:

(відсутній мультиплікативний вплив фактора U);
(відсутній адитивний вплив фактора U);
(статична характеристика – лінійна).

Гіпотези H_0, H_1 можуть перевірятися незалежно. Гіпотеза H_0 , залежно від висновків, які одержані при перевірці гіпотези H_1 , може бути представлена в двох варіантах.

У роботі представлені результати дисперсійного розкладання суми квадратів відхилень величин від загального середнього, яке дозволяє одержати шість незалежних складових

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6, \quad (5)$$

з яких S_1 і S_2 відповідають за адитивні зміни функції перетворення, а S_3 – за зміни мультиплікативні (табл. 1). Сума S_4 відповідає за систематичне відхилення (зменшення) функції перетворення.

Усі суми обчислюються за стандартною методикою односторонньої класифікації двовимірних наглядів в рамках дисперсійного аналізу груп лінійних регресій, а

Критерійні статистики дисперсійного відношення залежні від сум, що використовуються для перевірки гіпотез H_0 і H_1 дозволяють кількісно оцінити ефекти повного, адитивного і мультиплікативного впливів на невизначеність результатів оцінювання рівнів контрольованого параметра за наяв-

ності дискретної неоднорідності контрольованих величин. Причому ці ефекти можуть бути оцінені як по виходу, так і по входу для моделі перетворення. Наприклад, повна адитивне і мультиплікативне середньоквадратичного значення похибки по виходу мають вигляд:

де

Таблиця 1

Результати дисперсійного розкладання суми

Розглянута також методика тестування моделі зворотного функціонального перетворення з випадковими коефіцієнтами на відсутність або наявність впливу фактора дискретної неоднорідності на значення σ^2 . Це дало змогу розрахувати мінімальну кількість рівнів неоднорідності для тестування функції перетворення (табл. 2), при заданій вірогідності α .

Таблиця 2

Мінімальне число рівнів неоднорідності для тестування функції перетворення

У табл. 2: – відносне підвищення дисперсії величини , через вплив фактора неоднорідності, над дисперсією випадкового відхилення; .

Результати досліджень регресійних моделей вимірювальних перетворень з випадковими змінними вхідними величинами і випадковими коефіцієнтами дозволили:

– розробити інформаційний критерій оптимізації моделей багатопараметричних перетворень та метод вибору такої системи контрольованих величин, що забезпечує максимальну кількість інформації при оцінюванні параметра контролю;

– розробити метод оцінювання нелінійності моделі первинного перетворення і оцінки її стандартної невизначеності по входу і по виходу з розділенням на адитивну і мультиплікативну складові коли вхідна та вихідна величини - випадкові;

– розробити метод тестування моделі перетворення на наявність або відсутність впливу фактора дискретної неоднорідності контрольованих при обмеженій кількості нестандартних зразків параметра контролю.

У четвертому розділі наведено результати теоретичних досліджень алгоритмічних процедур вимірювального перетворення з використанням операцій прийняття рішень.

Якщо основна мета контролю – це отримання інформації щодо належності рівня параметра допусковому інтервалу, то для особливо складних об'єктів, що характеризуються практично нескінченним набором фізичних властивостей є сенс розглянути процедури отримання інформації без використання функціональних моделей багатопараметричного перетворення.

Для таких об'єктів ефективнішими є процедури статистичної дискримінації рівнів контрольованого параметра , що базуються на моделях прийняття рішень за результатами вимірювань складових вектора контрольованих величин.

Розглянуто правило вибору рішення про значення опосередковано вимірюваної величини , якщо умовна функція правдоподібності вектора контрольованих величин – максимальна серед всіх функцій правдоподібності, :

Складові вектора – це контрольовані величини системи контролю.

Показано, що для невиродженого нормального розподілу випадкового вектора результатів вимірювань , цільовою функцією вибору рішень є умовна статистика

для якої – оцінка вектора умовних середніх, а – оцінка коваріаційної матриці для складових вектора .

Знайдено закон розподілу ймовірності статистики при умові

$$, \quad (6)$$

де Γ – гамма-функція Ейлера; n – розмірність вектора $\mathbf{Y}$; m – кількість значень величини Y , що використовуються, на етапі навчання ($m \leq n$).

Одержано формулу для математичного очікування ширини допускового інтервалу, відповідного довірчої ймовірності

$$, \quad (7)$$

де Δ – діапазон вимірювання величини Y , а ймовірність α визначається інтегралом від розподілу (6)

$$. \quad (8)$$

Рівняння (7) показує, що величина Δ є функціоналом змінних:

- межі T_H , пропорційної роздільній здатності системи вхідних величин $x_1, \dots, x_p$ розрізняти рівні $y_1, \dots, y_m$ контрольованої величини Y ;
- кількості вхідних величин p ;
- кількості нестандартних зразків n , відтворюючих рівні $y_1, \dots, y_m$.

Межа T_H є функцією квадрата роздільної здатності системи показників $x_1, \dots, x_p$:

$$,$$

де δ (рівність 1 відповідає відсутності кореляції між $x_1, \dots, x_p$).

Вираз (7) дозволяє використовувати Δ як цільову функцію вибору числа значень m вимірюваної величини Y , для яких забезпечується мінімум похибки вимірювання. Рисунки 1 – 4 ілюструють поведінку функції Δ при різних n і δ , показуючи, що збільшення оптимального числа m можливе лише при збільшенні об'єму вибірки n і роздільної здатності δ .

Аналітичне дослідження алгоритмічної процедури непрямого вимірювання показало, що оптимізація числа рівнів m пов'язана і з оптимізацією розмірності вектора контрольованих величин $\mathbf{Y}$. Враховуючи, що мінімум статистики $T^{(k)}$ має розподіл близький до експоненціального закону при великих m , показано, що мінімальне значення ймовірності помилки α забезпечується при максимумі функціонала

Рис. 1. Залежність σ^2 від m при $n=30$ і $\rho=0.5$

Рис. 2. Залежність σ^2 від m при $n=90$ і $\rho=0.5$

Оптимальне значення P_0 числа складових вектора $\mathbf{y}$ визначається умовами: σ^2 та ρ .

Дотримання цих умов демонструє, що збільшення P_0 можливе лише при одночасному збільшенні n і ρ . Більш того, лише для значення P_0 вірогідність σ^2 – мінімальна.

Найбільший інтерес практичного вживання алгоритмічної моделі багато-параметричного перетворення викликає той факт, що вона може бути використана для корекції результату багатопараметричного перетворення, отриманого на основі функціональної моделі перетворення. У цьому випадку оцінкою значення величини Y виступає середнє арифметичне результатів y_i і y_j отриманих за допомогою функціонального та алгоритмічного перетворень

Дисперсія такого результату рівна

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} (\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_j}^2 - 2\rho\sigma_{y_i y_j})$$

де $\sigma_{y_i y_j}$ – коваріація між y_i і y_j , яка завжди позитивна; $\sigma_{y_i}^2$, $\sigma_{y_j}^2$ – дисперсії результатів вимірювання y_i та y_j .

Зниження дисперсії σ^2 можливо лише у випадку, коли нормований коефіцієнт парної кореляції ρ менше 1 (або $\rho = 0$).

Використання рівняння (8) для вірогідності помилки σ^2 , дозволяє записати вираз для σ^2 , та ρ :

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} (\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_j}^2 - 2\rho\sigma_{y_i y_j}); \quad (9)$$

$$\rho = \frac{\sigma_{y_i y_j}}{\sigma_{y_i} \sigma_{y_j}}; \quad (10)$$

(11)

Використовуючи вирази (9) – (11) розрахуємо нормований коефіцієнт парної кореляції між результатами вимірювання y_i і y_j

Забезпечення умови ($r < 1$) підвищення точності оцінювання, при обліку результатів параметричної дискримінації, має місце, якщо

(12)

Умова (12) указує на межі використання параметричної дискримінації для підвищення точності існуючих моделей функціональних перетворень, оскільки сама модель дискримінації має сенс, коли вірогідність похибки , а достовірність ухвалення рішень . Приведено результати використання параметричної дискримінації (модель алгоритмічного перетворення) для зниження похибки оцінювання відносної вологості сипкої сільськогосподарської сировини (зерно пшениці) діелькометричним вологоміром з первинним резонансним електромагнітним перетворювачем. Контрольованими величинами являлися резонансна частота (X_1) і максимальна добротність (X_2) резонансного контуру перетворювача. Загальна кількість зразків . На рис. 3 і 4 представлені залежності скоригованої похибки від m при рівній 1,41 % і 1,18 %, відповідно. Зменшення похибок () збільшує кількість інформації, щодо рівнів контрольованої вологості на величину:

(13)

Рис. 3. Скоригована середньоквадратична похибка в функції m для вологоміра № 1 ()

Рис. 4. Скоригована середньоквадратична похибка в функції m для вологоміра № 2 ()

Результати досліджень даного розділу дисертації дозволили:

- розробити теоретичні основи синтезу процедур алгоритмічного перетворення випадкових контрольованих величин на основі моделей багатоальтернативної параметричної дискримінації;
- розробити метод одержання інформаційної надмірності за рахунок алгоритмічного перетворення, для підвищення вірогідності багатопараметричного контролю.

У п'ятому розділі розглянуто задачі підвищення вірогідності контролю та діагностики динамічних об'єктів в умовах наявності дискретних неоднорідностей в стохастичних сигналах вимірювальної інформації. Математична модель такого сигналу – випадковий нестационарний процес, для якого тип нестационарності та її параметри визначають умови одержання інформації про можливі зміни контрольованих властивостей об'єкта контролю. Проведено аналіз випадкових сигналів з двома типами нестационарності: за дисперсією і за спектром. В якості інформаційних параметрів розглянуто статистики накопичених сум, що широко використовуються при контролі динамічних об'єктів. По суті, це критерійні статистики дисперсійного відношення, які несуть вимірювальну інформацію у вигляді зміни свого середнього значення.

Апріорна невизначеність такого параметра виражається в тому, що існує його позитивна кореляція з величиною дисперсії статистики накопичених сум. Адекватно, це відповідає наявності мультиплікативної похибки в межах умовної шкали станів об'єкта контролю і невідповідності моделі ймовірності похибки нормальному закону розподілу ймовірностей.

Це призводить до того, що будь-яка неергодичність початкового випадкового процесу через дискретну неоднорідність статистики дисперсійного відношення породжує апріорі невизначену зміну дисперсії інформативного параметра.

У даному розділі досліджені дві статистики S_k і S_{ω} , що використовуються для виявлення змін по потужності і по спектру вхідного сигналу $x(t)$, відповідно

,

де S_k – центрований залишок процесу $x(t)$ для k -того відліку, S_{ω} – умовна дисперсія центрованого процесу $x(t)$; S_k , якщо $k > 0$, та S_{ω} , якщо $\omega > 0$.

,

де Δt – інтервал часу між i -тим і $(i+1)$ -м перетинами нуля центрованим процесом $x(t)$; $\Delta \omega$ – умовний інтервал кореляції; S_k , якщо $k > 0$, та S_{ω} , якщо $\omega > 0$.

На рис. 5 представлені двовимірний і тривимірний варіанти оцінок спектральної щільності S_{ω} процесу $x(t)$ і типова реалізація залишку S_k . У табл. 3

представлені числові характеристики статистик T_n і S_j : середні значення (μ_n) і дисперсії (σ_n^2) для станів S_j , (μ_j, σ_j^2)

Виразимо дисперсії статистик T_n і S_j через їх середні значення

.

Позначимо статистику виявлення, $(T_n$ або $S_j)$, як T_n . Хай ця статистика має середнє значення μ_n , а її дисперсія є функцією як σ_n^2 , так і фіксованого об'єму вибірки n :

Рис. 5. Двовимірний і тривимірний варіанти оцінок спектральної щільності процесу $x(t)$ і типова реалізація залишку $e(t)$.

Таблиця 3

Числові характеристики випадкових статистик виявлення

Для усунення залежності дисперсії σ_n^2 від n скористаємося перетворенням $T_n = \sqrt{n} \cdot S_j$, (14)

де c – невідома постійна.

Якщо T_n є новою статистикою виявлення, одержаною перетворенням (14), то постійну c визначатимемо з рівності дисперсій

.

У загальному випадку:

$$\sigma_n^2 = c^2 \cdot \mu_n^2, \quad (15)$$

$$\sigma_j^2 = c^2 \cdot \mu_j^2, \quad (16)$$

де $\bar{u}_T$ – середнє для статистики u_T ; $D(u_T)$ – дисперсія статистики u_T , якщо $u_T \sim N(\bar{u}_T, D(u_T))$; $\bar{u}_t$ – середнє і дисперсія статистики u_t , якщо $u_t \sim N(\bar{u}_t, D(u_t))$.

У табл. 4 представлені вирази для статистик u_T і u_t , одержаних перетворенням (14), а також середні значення ($\bar{u}_T$) і дисперсії ($D(u_T)$) цих нових статистик (з рівнянь (15) і (16)) для станів S_0 і S_1 .

Таблиця 4

Числові характеристики перетворених статистик

З табл. 4 видно, що дисперсії статистик u_T і u_t однакові по станах S_0 і S_1 . Необхідно, також, відзначити, що перетворення (14), що стабілізує дисперсії статистик u_T і u_t , нормалізує і умовну функцію розподілу $f(u_T)$ і $f(u_t)$ цих статистик.

Усунення впливу дискретної неоднорідності на дисперсії інформативних параметрів у вигляді статистик T_n і T_t проводиться за рахунок надмірності за m відліків і дозволяє планувати точність оцінювання номера стану при повній відсутності мультиплікативної похибки оцінювання в допускових інтервалах.

З метою підвищення кількості інформації розроблено модель комплексного інформативного параметру u_T і u_t , на базі стабілізованих по дисперсії статистик u_T і u_t

$$u_T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_n^{(i)} \quad (17)$$

Статистика (17) дозволяє викривати порушення нестационарності будь якого виду, як по дисперсії, так і по спектру з вірогідністю:

$$P = 1 - \alpha$$

а рішення приймають, якщо $P < \alpha$. Підвищення вірогідності здійснюється за рахунок часової надмірності (збільшення n та N) і інформаційної (введення статистик u_T та u_t). Якщо розглядати статистики u_T і u_t роздільно, то ширина допускових інтервалів для них дорівнює, відповідно:

$$\Delta u_T = \Delta u_t = \Delta u$$

де k_p коефіцієнт довіри (квантільний коефіцієнт переходу), що залежить від заданої вірогідності.

Центри допускових інтервалів залежать від заданих відношень v та x :

$$\mu = \bar{u}_T$$

У даному розділі розглянуті також процедури формування інформативних параметрів у вигляді тестових F -статистик дисперсійного аналізу лінійних

послідовних регресій. Ці регресії є шматково-лінійною апроксимацією випадкових перехідних процесів, і дозволяють кількісно оцінювати зміну властивостей динамічного об'єкту на основі дисперсійного розкладання (5) з об'єднанням сум S_4 та S_5 . На рис. 6 представлені типові перехідні процеси зміни температур (T_1 – рис. 6, а; T_2 – рис. 6, б) камер нагріву технологічної лінії по виробництву рослинних масел: суцільна лінія – процес в нормі; пунктирна лінія – наявність технологічних порушень.

У табл. 5 представлені середні значення тестових статистик дисперсійного розкладання для станів і технологічного процесу, розрахованих по сумам S_1 , S_2 та S_3 .

а)

б)

Рис. 6. Динамічні сигнали, нестационарні за математичним очікуванням

Таблиця 5

Значення тестових статистик для станів і

Доведено, що синтезовані додаткові інформаційні сигнали , , є незалежними і допускають формування багатовимірних процедур алгоритмічного перетворення, які розглянуто в четвертому розділі, що знижує невизначеність результатів оцінювання виду стану і (за рахунок інформаційної надійності).

Результати досліджень, приведених в даному розділі, дозволили теоретично обґрунтувати:

– метод усунення мультиплікативної складової випадкової похибки оцінювання кількісних змін нестационарності випадкових сигналів, використовуючи процедури стабілізації дисперсій їх інформативних параметрів у всьому діапазоні умовної шкали станів об'єкту функціональної діагностики;

– метод синтезу процедур алгоритмічного перетворення випадкових сигналів, представлених у вигляді перехідних процесів, на основі використання тестових статистик дисперсійного розкладання шматково-лінійних апроксимацій цих сигналів, що забезпечило додаткову вимірювальну інформацію щодо стану об'єкта контролю.

Шостий розділ присвячено розробці методів підвищення вірогідності сис-

теми періодичного контролю прогресуючих змін стохастичного параметра. Первинна інформація для навчання системи контролю представлена для кожної з входних величин системи послідовностями результатів двовимірних вимірювань (часовими рядами). Особливістю таких рядів є наявність в них статистичної неоднорідності у вигляді дрейфу і стрибкоподібних змін середнього значення. Об'єкт контролю – рідка ізоляція високовольтного енергетичного устаткування (трансформаторне масло). Складові вектора входних величин – одиничні фізичні показники профілактичних випробувань (тангенс кута діелектричних втрат (), температура спалаху, процентний зміст хімічних домішок і т.п.).

Невизначеність результатів вимірювання значень входних величин при заданому значенні напрацювання T (в роках експлуатації устаткування) добре ілюструється на прикладі показника вимірювального контролю , рис. 7.

а) б)
Рис. 7. Типові ряди вимірних значень контрольованих величин
при температурі а) 20°C; б) 90°C

Розглянуто два базові етапи синтезу інформаційної системи:

– тестування часових рядів значень аргументів на статистичну однорідність, оскільки проби масла звичного сорту бралися з баків різнотипного маслonaповненого енергетичного устаткування;

– оптимізація числа входних величин за максимумом очікуваної вимірювальної інформації про значення вихідної величини $T_{ост}$.

Тестування на параметричну однорідність велося за інтегральною критерійною статистикою

де D_T – дисперсія середніх наробіток на відмову устаткування при параметричних відмовах, моменти яких визначалися по часових рядах для показника – кислотно-лужне число масла.

Для оптимізації числа входних величин останні були заздалегідь ранжируванні за убутанням кореляційного зв'язку з часом експлуатації T . Після нормування по дисперсії був проведений коваріаційний аналіз підмножин часових рядів для семи наборів показників контролю. До першого набору увійшов показник з максимальною

кореляцією з часом T . Другий набір включав уже перші два показники з ранжируваних. В подальших наборах число показників збільшувалося на один.

Кількість очікуваної вимірювальної інформації обчислювалася по залежності

$$, \quad (18)$$

де B_0 – загальний кутовий коефіцієнт лінійної регресії, побудованої по всіх нормованих рядах наглядів значень показників даного набору; B_k – кутові коефіцієнти приватних регресій (B_k) для кожного з k показників набору; n – об'єми вибірок по показниках; S – сума квадратів відхилень від загального середнього для всіх N результатів нормованих наглядів. Другий доданок під знаком квадратного кореня в рівнянні (18), позначене як ε , використовувалося як цільова функція оптимізації.

На рис. 8 представлені залежності традиційного вживаного, для оптимізації кількості регресорів, скоригованого коефіцієнта детермінації і цільової функції ε при різному числі вхідних величин системи контролю, якими являлися – pH – кислотно-лужне число (об'єм вибірки $n_1=215$), T – температура спалаху ($n_2=86$), CO – при $70^\circ C$, ($n_3=14$), CO_2 – чадний газ, ($n_4=19$), U – пробивна напруга ($n_5=29$), W – зміст водорозчинних кислот ($n_6=52$), CO_2 – вуглекислий газ, ($n_7=300$).

Рис. 8. Залежність значень B_0 та ε від числа k вхідних величин системи контролю

У даному розділі представлені результати теоретичних досліджень в задачі планування кількості груп вимірювань для виявлення процесів старіння трансформаторних масел в умовах неоднорідностей вимірювальних експериментів. Якщо S – міжгрупова дисперсія, що задається моделлю старіння конкретного типу масла, а σ^2 – залишкова дисперсія моделі множинної регресії (моделі багатомірного вимірювання), то мінімальне число K_{min} послідовних груп вимірювань визначають з нерівності

де n – кількість вимірювань в групі; q – квантілі F – розподілу при заданій ймовірності помилок α і β ухвалення рішень про наявність

або відсутність процесів старіння.

В таблиці 6 представлені результати розрахунків K_{min} та мінімального часу T контролю для п'яти варіантів системи вхідних величин, які задані в порядку збільшення кількості очікування вимірювальної інформації. Відношення розраховувалося через скоригований коефіцієнт детермінації як

Таблиця 6

Результати оцінювання мінімального часу контролю

В даному розділі розглянуто також теоретичні аспекти вибору обчислювальних процедур при прогнозуванні (екстраполяції) параметричних змін контрольованого параметра. Теоретично обґрунтовано, що доцільним (в плані вибору виду процедури) є здійснення попереднього прогнозу по кожній вхідній величині системи контролю, з подальшим використанням цих значень в лінійних моделях перетворень. Така обчислювальна процедура тим більш ефективна, чим більшою є розмірність вектора контрольованих сигналів і чим більше розрізняються їх автокореляційні функції. Дисперсія спрогнозованих рівнів контрольованого параметру зменшується, кількість інформації – зростає.

Дослідження, результати яких представлені в даному розділі, дозволили розробити і теоретично обґрунтувати:

- метод тестування на статистичну однорідність послідовностей значень контрольованих стохастичних величин, як нестационарних часових рядів, з урахуванням параметричного дрейфу виміряних значень;
- метод вибору, за максимумом очікуваної інформації, числа контрольованих величин при контролі часу появи параметричних порушень (на прикладі контролю стану ізоляції енергетичного устаткування);
- метод планування кількості груп профілактичних випробувань ізоляції (тривалості етапу навчання системи контролю) при заданій вірогідності помилок першого і другого роду в рішеннях про наявність чи відсутність процесів старіння ізоляції;
- метод вибору обчислювальних процедур при прогнозуванні параметричних змін контрольованого параметру.

У цьому розділі розглядаються інженерні застосування ймовірнісно-статистичного підходу до задач підвищення вірогідності контролю та діагностики об'єктів з невизначеними властивостями.

На прикладі експрес-контролю відносної вологості сипкої сільськогосподарської сировини електричним вологоміром з первинним резонансним перет-

ворювачем показана ефективність вживання процедури алгоритмічного перетворення. Сипка сировина – насіння соняшника, що використовується для виробництва олії на технологічному устаткуванні “Екструдер ЕК – 75/1200”. Фактори, які обумовлюють статистичну неоднорідність вимірювального експерименту на етапі синтезу функції перетворення вологоміра – сортність насіння (олійність), насипна густина. Контрольовані сигнали, несучі інформацію про відносну вологість – резонансна частота і добротність коливального контуру резонансного високочастотного перетворювача. Тестування на впливи фактора дискретної статистичної неоднорідності при заданій вірогідності помилок визначило мінімальне число рівнів факторів впливу (не менше 4).

Коваріаційний аналіз сигналів і при наявності факторів впливу (включаючи фактор – вологість) дозволив оцінити похибки по входу для цих сигналів, з розділенням їх на адитивну і мультиплікативну складові.

По цільовій функції була синтезована регресійна функціональна модель перетворення з аргументами

яка забезпечила стандартну невизначеність результатів оцінювання відносної вологості (у % відносної вологості).

Синтез алгоритмічної моделі перетворення дозволив одержати мінімальну стандартну невизначеність для трьох рівнів вимірюваної вологості Y .

Процедура, що включає сумісне використання функціональної і алгоритмічної моделей перетворення, дозволила понизити стандартну невизначеність результатів оцінювання вологості до величини .

Представлена структурна схема запатентованого мікроконтролерного резонансного перетворювача вологості з двома коливальними контурами. Підвищення точності оцінювання відносної вологості електричними резонансними вологомірами дозволило, при малому часі вимірювання (менше ніж 2 секунди), дозволило підвищити достовірність експрес-контролю технологічної сировини з величини $0,8 \pm 0,01$ до значення $0,9 \pm 0,01$, на підприємстві НВО «Екструдер».

Представлені результати вживання синтезованих, на основі нормалізуючих перетворень, статистик накопичених сум, що дозволяють кількісно оцінювати якісні зміни динамічних об’єктів контролю. Об’єктами контролю були ві характеристики спектрально-нестационарних випадкових процесів (сигналів на пруги на виході електропотенційного первинного перетворювача).

Об’єкт діагностики – функціональний стан шлунково-кишкового тракту (біологічний об’єкт). Підвищення точності оцінювання дисперсії випадкового сигналу з урахуванням фактора неоднорідності (спектральні зміни) дозволив підвищити достовірність діагностики функціональних станів з рівня $0,75 \pm 0,01$ до рівня $0,89 \pm 0,01$ у межах діючої системи моніторингу стану хворих в Міській клінічній лікарні № 26 (м. Харків). Наведена схема мікропроцесорної системи вимірювального контролю та діагностики функціональних і станів шлунково-кишкового тракту та схематичне зображення розробленого нестандартизованого перетворювача біопотенціалів.

Процедури нормалізуючого перетворення при контролі дисперсії випадкових сигналів з урахуванням їх спектральних змін були застосовані, також, в системі управління електрохірургічною високочастотною апаратурою (Інститут загальної та невідкладної хірургії АМН України) для підвищення більш ніж в 2 рази точності оцінювання рівнів тепловиділення на активних електродах електроскальпеля.

Коваріаційний аналіз значень контрольованих величин у вигляді часових рядів знайшов практичне використання у формуванні процедур контролі технологічних порушень при виробництві рослинних масел (підприємство НВО “Екструдер”) і при контролі параметричних змін якості рідкої ізоляції (Акціонерна компанія “Харківобленерго”).

Параметр технологічного контролю – коефіцієнт корисної дії технологічної лінії (процентний вихід олії). Аргументи функції вимірювального перетворення – температури камер нагріву і струм електродвигуна, що обертає шнеки екструдера. Застосування коваріаційних моделей вимірювального перетворення при контролі перехідних режимів дозволило зменшити в більш ніж 2 рази час вихідних випробувань технологічних установок “Екструдер ЕК – 75/1200”, та підвищити з 0,62 до 0,8 вірогідність контролю перехідних режимів.

Параметр контролю якості рідкої ізоляції (трансформаторних масел) – залишковий ресурс ізоляції маслонаповненого діючого енергетичного устаткування високої напруги (до 330кВ). Аргументи регресійної функції перетворення – фізико-хімічні показники профілактичних випробувань проб трансформаторних масел. Абсолютна похибка оцінювання рівня параметру складала не більш 0,5 роки при технічному ресурсі устаткування не менше 25 років, що дало можливість підвищити точність оцінювання технічного 95%-го ресурсу в 1,2 рази. Застосування розроблених методів підвищення вірогідності в існуючій системі експлуатаційного контролю діючого енергетичного обладнання дозволило підвищити від $(0,8 \pm 0,02)$ до $(0,91 \pm 0,03)$ вірогідність контролю параметричних порушень трансформаторних масел, та підвищити від $(0,88 \pm 0,02)$ до $(0,94 \pm 0,02)$ вірогідність контролю ізоляції високовольтних вводів – при повільних порушеннях, та від $(0,75 \pm 0,03)$ до $(0,85 \pm 0,02)$ – при раптових порушеннях.

На всі інженерні розробки із вдосконалення інформаційно-вимірювального забезпечення систем контролю та діагностики вищезгаданих об’єктів одержано акти випробування або довідки використання результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації проведені теоретичні узагальнення й отримані перспективні рішення науково-прикладної проблеми підвищення вірогідності багатопараметричного контролю й функціональної діагностики об'єктів з випадковими параметрами, коли ускладнено побудову ймовірнісної моделі об'єкта через обмеження на одержання інформації про його властивості.

1. Розроблено теоретичне обґрунтування методу тестування з урахуванням ймовірностей помилок не тільки першого, але й другого роду, вихідних сигналів перетворювачів фізичних величин, стохастично пов'язаних з параметрами сипких матеріалів. Доведено можливість тестування таких сигналів на адекватність рівням відтвореного нестандартним зразком параметра контролю. Це стало можливим за рахунок рандомізації рівнів факторів, що впливають, при відтворенні рівнів параметра, дозволивши мінімізувати кількість нестандартних зразків при заданій вірогідності тестування. Встановлено вплив нелінійності функції перетворення на величину зсуву вихідного сигналу при його стохастичному зв'язку з контрольованим параметром. Визначено умови, виконання яких виключає появу систематичних погрішностей у допускових інтервалах на рівні параметра контролю й зменшує ймовірність помилок при контролі складу речовин, коли при навчанні системи контролю замість стандартних зразків використовують нестандартні зразки, виготовлені на основі реальних речовин і матеріалів.

2. Розвинуто інформаційну теорію контролю та розроблено метод інформаційного аналізу поліноміальних моделей перетворення контрольованих величин у системах багатопараметричного контролю стрибкоподібних і дрейфових змін стохастичного параметра, на основі оцінювання кількості інформації про контрольовані зміни, коли коефіцієнти поліноміальної моделі – випадкові величини. Встановлено існування максимуму кількості інформації для мінімально припустимої підмножини контрольованих величин. Доведено, що інформаційний підхід до вибору такої підмножини відрізняється більш високими чутливістю й точністю в порівнянні з традиційними методами аналізу множинної регресії на основі скоригованого коефіцієнта детермінації. Застосування розробленого методу в системах контролю дрейфових порушень параметрів якості трансформаторних масел дозволило зменшити майже в 4 рази число контрольованих величин (з 19 до 5) при зменшенні відносної погрішності оцінювання часу порушення з $(10,12 \pm 0,1)\%$ до $(9,72 \pm 0,09)\%$ (довірча ймовірність $P=0,95$).

3. Отримали розвиток методи аналізу погрішностей нестандартних первинних перетворювачів фізичних величин, стохастично пов'язаних з параметром контролю, коли метрологічно точне відтворення рівнів параметра є неможливим, а кількість незалежних, відтворених нестандартними зразками, значень обмежено. З'ясовано, на основі коваріаційного аналізу контрольованих величин, що заміна функції перетворення послідовністю лінійних регресій з випадковими коефіцієнтами дозволяє, незалежно від виду функції, виділяти адитивну й мультиплікативну складові повної погрішності перетворення. Доведено, що використовувана для цього кількість нестандартних зразків, що відтво-

рюють хоча б три рівні параметра контролю, не повинна бути меншою за 18.

4. Вперше розроблено метод, на основі теорії статистичних рішень, розпізнавання трьох і більше рівнів стохастичного параметра за випадковими корельованими вхідними сигналами системи багатопараметричного контролю. Це призвело до того, що одержувані при розпізнаванні оцінки значень рівнів стали принципово незміщеними в допускових інтервалах, маючи при цьому мінімальну дисперсію. Встановлено, що вірогідність збільшується, якщо використувати метод розпізнавання для корекції результатів будь-яких функціональних перетворень при оцінках параметра контролю, особливо якщо точний вид дійсної функції перетворення невідомий. Доведено, що така корекція зменшує в $(1,05 \div 1,1)$ рази випадкові погрішності й усуває систематичні в допускових інтервалах на контрольовані рівні стохастичного параметра.

5. Отримала розвиток теорія виявлення змін динамічних систем та розроблено метод усунення мультиплікативних складових у випадкових відхиленнях інформативних параметрів стохастичних сигналів, спектральні зміни яких кількісно відбивають функціональні порушення станів динамічного об'єкта контролю або діагностики. Встановлено, на основі аналізу ймовірнісних моделей параметрів, що при логарифмічних перетвореннях можлива стабілізація їхніх дисперсій. Це відкриває можливість об'єднання інформативних параметрів та побудови рівномірних умовних шкал станів у вигляді послідовних симетричних допускових інтервалів на рівні цих параметрів. Доведено, що розроблені моделі інформативних параметрів та метод стабілізації їхніх дисперсій дозволяють підвищити в 1,4 рази кількість незалежних дискретів стохастичних сигналів, зменшуючи в $(3 \div 3,5)$ рази ймовірність помилок другого роду при сталості рівня значимості.

6. Розвинуто методи контролю нестационарних по математичному очікуванню, стохастичних контрольованих сигналів. Розроблено, на основі дисперсійного аналізу їх послідовних регресійних перетворень, метод синтезу незалежних інформативних параметрів, що дозволило одержати надлишкову інформацію із складових залишкової дисперсії сигналів. Розроблено метод використання цих параметрів для розпізнавання стану динамічного об'єкту. Це призвело до скорочення більш ніж у 2 рази часу спостереження перехідних режимів технологічних установок, що застосовуються у харчовій промисловості. Доведено можливість підвищення вірогідності контролю з 0,62 до 0,8 за рахунок об'єднання інформативних параметрів і використання їх для розпізнавання альтернативних функціональних станів технологічного устаткування.

7. На основі інформаційного аналізу результатів дисперсійного розкладання контрольованих величин, отримали розвиток методи підвищення вірогідності контролю прогресуючих змін стохастичних параметрів. Це дозволило виділити підмножину величин, які є максимально чутливими до прогресуючої зміни параметра контролю. Розроблено метод оцінювання мінімального часу прогнозування при заданих ймовірностях помилок не тільки першого, але й другого роду, при будь-яких сполученнях контрольованих величин. Доведено, на основі дисперсійного аналізу багатомірних випадкових послідовностей цих

величин, що використовується для такого аналізу випадкова модель факторного впливу дозволяє задавати величину вірогідності при контролі порушень стаціонарності як за середнім значенням, так і по дисперсії, незалежно від виду моделі дрейфових або прогресуючих змін контрольованого параметра. Підтверджено результатами експлуатаційного контролю на високовольтному діючому маслonaповненому устаткуванні збільшення від $(0,8 \pm 0,02)$ до $(0,91 \pm 0,03)$ вірогідності контролю параметричних порушень якості трансформаторних масел (довірча ймовірність 0,95) і збільшення на 20% точності прогнозування 95%-ного залишкового ресурсу устаткування. Підтверджено підвищення вірогідності контролю параметрів ізоляції високовольтних уведень трансформаторів напругою 330 кВ, від величини $(0,88 \pm 0,02)$ до $(0,94 \pm 0,02)$ – при поступових порушеннях, і від величини $(0,75 \pm 0,03)$ до $(0,85 \pm 0,02)$ – при раптових порушеннях.

8. Результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджені в АК «Харківобленерго»; на науково-виробничому підприємстві «Екструдер» (м. Харків); на підприємстві «Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О.Морозова»; в Інституті загальної й невідкладної хірургії АМН Україна (м. Харків); у міській клінічній лікарні № 26 (м. Харків); у НТУ «ХПІ» при підготовці фахівців, магістрів і аспірантів.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Щапов П.Ф. Повышение эффективности эксплуатационного измерительного контроля трансформаторных масел: Монография / Бондаренко В.Е., Щапов П.Ф., Шутенко О.В. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 452с.

Здобувачем написані підрозділи 2.3, 2.10, 3.1, 3.2, 3.3, 5.1; зроблено дисперсійний, коваріаційний та інформаційний аналіз результатів вимірювань входних величин системи профілактичного контролю трансформаторного масла в підрозділах 2.6, 3.5, 3.6.

2. Щапов П.Ф. Оптимизация процесса обработки информации в задаче технической диагностики [Текст] / Щапов П.Ф., Гусельников В.К. // Вестник ХПИ, «Автоматика и приборостроение». – 1983.–Вып. 9.–С. 61-63.

Здобувачем розроблені математична модель представлення крутильних коливань валу дизельного двигуна та метод оптимізації системи інформаційних сигналів.

3. Щапов П.Ф. Оценка метрологических характеристик электромагнитного преобразователя влажности [Текст] / Щапов П.Ф., Овчаренко А.И., Мигущенко Р.П. // Український метрологічний журнал. – 1999. – Вип. 3. – С. 31-34.

Здобувачем розроблено метод інтервального оцінювання метрологічних характеристик електромагнітного резонансного перетворювача відносної вологості.

4. Щапов П.Ф. Коррекция погрешностей по минимуму остаточной дисперсии [Текст] / Овчаренко А.И., Шапиро М.В., Щапов П.Ф. // Український метрологічний журнал. – 2002. – Вип.2. – С. 16-18.

Здобувачем досліджені модель факторного впливу температури на вихід-

дний код аналогово-цифрового перетворювача та модель корекції додаткової похибки по мінімуму залишкової дисперсії.

5. Щапов П.Ф. Классификационные задачи при двухпараметровом измерении влажности [Текст] / Щапов П.Ф., Качанов М.П. // Український метрологічний журнал. – 2002. – Вип. 4. – С. 12-14.

Здобувачем розроблена модель параметричної статистичної класифікації рівнів відносної вологості, аналітично знайдено рівняння для похибки оцінювання та вибору оптимального числа рівнів.

6. Щапов П.Ф. Дисперсионный анализ линейных моделей старения трансформаторных масел [Текст] / Щапов П.Ф., Шутенко О.В., Бондаренко Д.В. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – № 4. – С. 92-97.

Здобувачем розроблено метод неповного коваріаційного аналізу процесів теплового впливу на показники вимірювального профілактичного контролю трансформаторної олії.

7. Щапов П.Ф. Многоканальная термометрия при прогнозировании состояний термодинамических систем [Текст] / Щапов П.Ф., Ключко Г.А., Бойко В.В., Наконечный Е.В., Гафт К.Л. // Вісник НТУ «ХПІ» – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – № 7. – т.3. – С. 155-160.

Здобувачем проведено дисперсійний аналіз екстраполяційних лінійних моделей прогнозування по випадковим багатомірним результатам вимірювань.

8. Щапов П.Ф. Оптимизация полиномиальных уравнений косвенного измерения в условиях неопределенности метрологического эксперимента [Текст] / Щапов П.Ф. // Український метрологічний журнал. – Вип. 2. – 2004. – С. 5-8.

9. Щапов П.Ф. Снижение погрешностей градуировки многопараметрового измерителя влажности при априорной неопределенности метрологического эксперимента [Текст] / Щапов П.Ф. // Український метрологічний журнал. – 2004. – Вип. 4. – С. 40-42.

10. Щапов П.Ф. Повышение эффективности параметрического контроля динамических систем со случайными сигналами [Текст] / Щапов П.Ф. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 6. – С. 29-32.

11. Щапов П.Ф. Информационные модели многопараметровых измерений при априорной неопределенности функции преобразования [Текст] / Щапов П.Ф., Качанов М.П. // Харківський військовий університет. Збірник наукових праць. Системи обробки інформації. – Харків: ХВУ, 2004. – № 2. – С. 225-231.

Здобувачем знайдено рівняння для оцінювання кількості очікуваної вимірювальної інформації при опосередкованих вимірюваннях при малій кількості спостережень та одержано рівняння для оцінки достовірності цієї інформації.

12. Щапов П.Ф. Разработка модифицированного алгоритма прогнозиро-

вания стохастических временных рядов в дилинговых информационных системах [Текст] / Замятин П.Н., Щапов П.Ф., Сафронов Д.В. // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2004. – № 4. – С. 50-53.

Здобувачем зроблено статистичний аналіз одномодельної та двохмодельної процедур вимірювального перетворення випадкових сигналів і вибір тестової статистики виявлення спектральних змін.

13. Щапов П.Ф. Анализ факторного влияния влажности и плотности сыпучих материалов на информационные параметры резонансного преобразователя [Текст] / Щапов П.Ф., Качанов М.П., Гайдаш А.М. // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2005. – № 7. – С. 167-172.

Здобувачем досліджена модель двохфакторного дисперсійного аналізу вимірювальних сигналів при обліку взаємодії впливаючих факторів.

14. Щапов П.Ф. Оценка информационной значимости показателей измерительного эксплуатационного контроля технического состояния изоляции высоковольтных маслонаполненных вводов [Текст] / Щапов П.Ф., Бондаренко В.Е., Шутенко О.В., Загайнова А.А. // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2005. – № 17. – С. 96-99.

Здобувачем розроблена інформаційна модель вимірювального опосередкованого контролю ізоляції високовольтних маслонаповнених введень.

15. Щапов П.Ф. Оценка нелинейности регрессионных моделей двумерных функций преобразования [Текст] / Щапов П.Ф., Качанов М.П. // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2005. – № 38. – С. 165-170.

Здобувачем проведено коваріаційний аналіз в умовах метрологічної невизначеності впливаючого фактора та двомірних опосередкованих вимірюваннях.

16. Щапов П.Ф. Оптимизация пространства информационных параметров на основе ковариационных моделей дисперсионного анализа [Текст] / Щапов П.Ф. // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – № 2. – С. 59-62.

17. Щапов П.Ф. Планирование профилактического контроля маслонаполненного энергетического оборудования для выявления процессов старения с заданной достоверностью принятия решений [Текст] / Щапов П.Ф. // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – № 3. – С. 65-68.

18. Щапов П.Ф. Оценка погрешностей двухпараметрового резонансного преобразователя методами ковариационного анализа [Текст] / Щапов П.Ф. // Український метрологічний журнал. – 2005. – № 4. – С. 21-25.

19. Щапов П.Ф. Дисперсионный анализ многофакторных параметрических моделей информационного преобразования резонансного измерителя влажности [Текст] / Качанов М.П., Щапов П.Ф. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – № 3. – С. 53-56.

Здобувачем проведено дисперсійний аналіз в умовах перехресної класифікації інформаційних сигналів та їх опосередкованих функціональних перетворень.

20. Щапов П.Ф. Обеспечение максимальной достоверности параметрического контроля спектрально-нестационарных случайных сигналов [Текст] / Щапов П.Ф., Муляров В.В. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – № 6. – С. 41-45.

Здобувачем синтезована модель параметричного тестування спектрально-нестационарних інформаційних сигналів при випадковому часу спостережень та проведено оцінювання мінімального часу спостереження.

21. Щапов П.Ф. Оценка информативности показателей профилактического контроля состояния высоковольтных вводов методами количественного дисперсионного анализа [Текст] / Щапов П.Ф., Бондаренко В.Е. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005. – № 4. – С. 36-41.

Здобувачем одержано рівняння для оцінки кількості очікуваної вимірювальної інформації щодо параметричних змін якості ізоляції високовольтних введень типу БМТ 110/600.

22. Щапов П.Ф. Выбор информативных показателей технологического контроля на основе двумерных моделей дисперсионного анализа [Текст] / Щапов П.Ф., Муляров В.В. // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2005. – № 3/2(15). – С. 46-49.

Здобувачем проведено дисперсійний аналіз факторного впливу вологості сипкої сировини на температурні режими маслоекстракційної установки

23. Щапов П.Ф. Нормализация метрологически неопределенных информационных сигналов для систем измерительного контроля динамических объектов [Текст] / Щапов П.Ф. // Механіка та машинобудування. – 2006. – № 1. – С. 280-286.

24. Щапов П.Ф. Применение тестовых статистик в системе автоматического измерительного контроля технических процессов [Текст] / Щапов П.Ф. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006. – № 1. – С. 35-40.

25. Щапов П.Ф. Підвищення точності непрямих електричних методів вимірювання вологості при використанні метрологічно невизначених, вимірювальних сигналів [Текст] / Назаренко Л.А., Щапов П.Ф. // Український метрологічний журнал. – 2006. – Вип. 2. – С. 54-57.

Здобувачем одержано рівняння для розрахунку дисперсії абсолютних похибок опосередкованого вимірювання відносної вологості при використанні алгоритмічної моделі вимірювання.

26. Щапов П.Ф. Применение классификационных процедур дискриминантного анализа для уменьшения информационной неопределенности многомерных измерительных сигналов [Текст] / Щапов П.Ф., Осина Т.Г., Муляров В.В. // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харківський університет повітряних сил. – Харків, 2006. - Вип. 7(56). – С. 92-94.

Здобувачем одержано рівняння для оцінювання ймовірності похибок першого роду при обмеженнях на обсяг вимірювальної інформації.

27.Щапов П.Ф. Формирование комплексных показателей технологического контроля с использованием тестовых статистик ковариационного анализа [Текст] / Щапов П.Ф., Муляров В.В., Щемерова А.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – № 9. – С. 133-137.

Здобувачем проведено оцінювання чутливості тестових статистик, як аргументів функції опосередкованого перетворення на основі лінійної моделі дискримінації.

28.Щапов П.Ф. Ковариационный анализ моделей старения изоляции по результатам измерительного контроля технического состояния высоковольтных вводов [Текст] / Щапов П.Ф., Бондаренко В.Е., Загайнова А.А., Сидоренко И.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 28. – С. 132 – 138.

Здобувачем проведено коваріаційний аналіз результатів опосередкованих високовольтних вимірювань для напруги 3 кВ і 10 кВ.

29.Щапов П.Ф. Минимизация температурных погрешностей цифровых преобразователей методами функциональной коррекции [Текст] / Щапов П.Ф. // Вісник НТУ "ХПІ". Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 31. – С.142-147.

30.Назаренко Л.А. Статистические методы анализа неопределенности результатов косвенных измерений [Текст] / Назаренко Л.А., Щапов П.Ф. // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харківський університет повітряних сил. – Харків, 2007. – Вип. 6(64). – с. 71-73.

31.Спосіб транс фузійної тактики: Деклараційний патент на винахід. / В.В. Бойко, І.А. Криворучко, Є.В. Наконечний, П.Ф. Щапов та інш. – № 61641 А; Заявл. 21.03.2003; Надрук. 17.11.2003, Бюл. № 11. – 6 с.

Здобувачем розроблено рівняння для розрахунку кількості крові, необхідної для переливання, при невизначеності рівня крововтрати, а також вибір критерію адекватності оцінювання.

32.. Спосіб вимірювання вологості і пристрій для його здійснення: Патент на винахід / Гайдаш А.М., Гунбін М.В., Качанов М.П., Кордюмов О.І., Щапов П.Ф. - № 76326; Заявл. 27.09.2004; Надрук. 17.07.2006, Бюл № 7.-14с.

Здобувачем доведено необхідність використання додаткового генератора високої частоти для вилучення опосередкованим методом інформації щодо рівня сипкої щільності.

33.Щапов П.Ф. Цифровой экспресс-влажномер для макаронной промышленности [Текст] / Овчаренко А.И., Щапов П.Ф., Комирный А.С., Шапиро М.В. // Хранение и переработка сельхозсырья. М.: Российская Академия сельскохозяйственных наук. – 2002. – № 1. – С. 53-54.

Здобувачем знайдено аналітичну модель функціонального впливу вхідних аргументів на параметр якості об'єкта експрес-контролю.

34.Щапов П.Ф. Диагностика функционального состояния нижнего пищеводного сфинктера у больных с ГЭРБ с использованием методов обработки случайных сигналов измерительной информации [Текст] / Велигодский Н.Н., Щапов П.Ф., Горбулич А.В., Калябин С.Ю. и др. // Вісник морфології.

– 2003. – № 2. – С. 446-449.

Здобувачем розроблено математичну модель модифікованої статистики як інформаційного сигналу та проведено статистичний аналіз її математичного очікування та дисперсії.

35.Щапов П.Ф. Дисперсионный анализ информационных сигналов резонансного преобразователя при измерениях влажности и плотности сыпучих материалов [Текст] / Щапов П.Ф., Качанов М.П. // Сборник тезисов докладов 10-я МНК “Теория и техника передачи, приёма и обработки информации”, Харьков-Туапсе. – 2004. – С. 334-335.

Здобувачем зроблено розрахунок критеріальних статистик для вихідних сигналів резонансного перетворювача.

36.Щапов П.Ф. Оценка информационной значимости показателей измерительного контроля метрологических неопределенных параметров зерна пшеницы [Текст] / Щапов П.Ф., Осина Т.Г. // Сб. науч. труд. Том VII. МНК “Метрология и измерительная техника”. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. – С. 146-149.

Здобувачем розроблено ранговий метод вибору найбільш інформативних аргументів моделі опосередкованих вимірювань.

37.Щапов П.Ф. Снижение неопределенности результатов испытаний при синтезе моделей старения трансформаторных масел [Текст] / Шутенко О.В., Бондаренко В.Е., Щапов П.Ф. // 2 НТС “Неопределенность измерения: нормативные, научные, методические и производственные аспекты”. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. – С. 85-87.

Здобувачем зроблено вибір математичної моделі прогнозування часу старіння трансформаторної олії.

38.Щапов П.Ф. Оптимизация системы информационных показателей при метрологической неопределенности показателей контроля [Текст] / Щапов П.Ф., Осина Т.Г. // V МНК “Метрологія та вимірювальна техніка”. (Метрологія -2006).–Т.2, ННЦ “Інститут метрології”. – С. 368-371.

Здобувачем одержано формулу для розрахунку кількості очікуваної вимірювальної інформації при синтезі моделі опосередкованих перетворень при обмеженнях на кількість спостережень та кількість аргументів моделі.

39.Щапов П.Ф. Оценка уровней относительной влажности сыпучих материалов по результатам теплофизического контроля технологических режимов маслоэкстракционных установок [Текст] / Назаренко Л.А., Щапов П.Ф. // V МНТК Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія - 2006), Наукові праці конференції у 2-х томах .–Том 1. – Харків, 2006. – С. 343-346.

Здобувачем проведено коваріаційний аналіз параметричних моделей опосередкованого вимірювання вологості сипкої сировини при використанні, як аргументів моделі перетворення, тестових F-статистик.

40. Щапов П.Ф. Уменьшение неопределенности непрямых измерений при контроле состава сыпучих материалов [Текст] /Щапов П.Ф., Осина Т.Г. // VI МНТК Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія - 2008), Наукові

праці конференції у 2-х томах.—Том 2. — Харків, 2008. - С.333-336.

Здобувачем проведено аналіз факторів, які викликають статистичну неоднорідність інформаційних сигналів при контролі сипких матеріалів та вибір моделі класифікаційного контролю.

Усі публікації вміщують результати безпосередньої праці здобувача на окремих етапах досліджень і відповідають основним висновкам та положенням дисертаційної роботи.

АНОТАЦІЇ

Щапов П.Ф. Методи підвищення вірогідності контролю та діагностики стохастичних параметрів об'єктів різної фізичної природи. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2009.

Дисертація присвячена рішенням важливої науково-прикладної проблеми – підвищенню вірогідності багатопараметричного контролю й функціональної діагностики об'єктів зі стохастичними параметрами.

Розроблено, для статичних об'єктів, на прикладі біохімічних складних сипких матеріалів метод відбору статистично однорідних нестандартних зразків параметра контролю. При цьому забезпечений, із заданою вірогідністю, нормативно граничний рівень стохастичного впливу фізико-хімічних характеристик матеріалу на відтворені, при навчанні, контрольовані величини.

Розроблено метод відбору максимально інформативної підмножини контрольованих величин з дискретною неоднорідністю, при використанні поліноміальних моделей перетворення, з невизначеними, через короткі навчальні вибірки, коефіцієнтами моделей. Для моделей з випадковими коефіцієнтами розроблений метод розкладання похибки первинного перетворення, на систематичну, адитивну й мультиплікативну складові, що дозволило за малої кількості нестандартних зразків оцінювати ймовірнісні властивості контрольованих величин у діапазоні змін стохастичного параметра контролю.

Розроблено теорію й метод оптимального, по максимуму вірогідності, багатоальтернативного розпізнавання рівнів параметра контролю по підмножині стохастичних контрольованих величин. Доведено, що таке алгоритмічне перетворення може доповнювати перетворення поліноміальні, підвищуючи вірогідність будь-якого багатопараметричного контролю.

Розроблено методи підвищення вірогідності контролю й функціональної діагностики динамічних об'єктів по стохастичним сигналам зі складними видами нестаціонарності. Для цього синтезовані комплексні інформативні параметри, на базі процедур розкладання залишкової дисперсії таких сигналів.

Розроблено метод формування максимально інформативної системи контрольованих величин зі змішаною неоднорідністю, представлених багатомірними нестаціонарними часовими рядами. Отримано розрахункові формули для оцінки періоду спостереження при контролі й прогнозуванні, із заданою вірогідністю, змін властивостей об'єкта контролю, які прогресують.

Розглянуто практичні задачі підвищення вірогідності: експрес-контролю параметрів складу сипкої сільськогосподарської сировини; медичної функціональної діагностики й контролю перехідних технологічних режимів; експлуатаційного контролю маслонаповненого високовольтного енергетичного устаткування.

Ключові слова: методи підвищення вірогідності, багатопараметричний контроль, функціональна діагностика, нестандартні зразки складу речовин, контрольовані величини, статистична неоднорідність, стохастичні сигнали, статичні рішення, інформативність, дестабілізуючі фактори.

Щапов П.Ф. Методы повышения достоверности контроля и диагностики стохастических параметров объектов различной физической природы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2009.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной проблемы – повышению достоверности многопараметрического контроля и функциональной диагностики объектов со стохастическими параметрами. Предложен методологический подход к решению задачи повышения достоверности в условиях априорной неопределенности контролируемых величин. Проведено разделение объектов на статические и динамические по степени влияния времени наблюдения на вые характеристики контролируемых величин. По характеру стохастического влияния дестабилизирующих факторов на эти величины, последние представлены информационными моделями с дискретной, непрерывной и смешанной статистической неоднородностью. Установлено, что повышение достоверности – задача комплексная, решаемая на этапе обучения системы контроля и диагностики, направленная на получение информационной избыточности за счет формирования максимально информативной системы контролируемых величин и оптимальных, по минимуму неопределенности процедур их преобразования в статистические решения.

Разработан, для статических объектов, на примере биохимически сложных сыпучих материалов, метод отбора статистически однородных нестандартных образцов параметра контроля. При этом обеспечен, с заданной достоверностью, нормативно предельный уровень стохастического влияния физико-химических характеристик материала на воспроизводимые при обучении контролируемые величины. Определены условия устранения смещений этих величин в допусковых интервалах и разработан метод оценки их информативности.

Разработан метод отбора максимально информативного подмножества контролируемых величин с дискретной неоднородностью, используемых в полиномиальных моделях преобразования, при неопределенности, из-за коротких обучающих выборок, коэффициентов моделей. Для таких моделей разработан метод разложения погрешности первичного преобразования на систематиче-

скую, аддитивную и мультипликативную составляющие, что позволило по малому числу нестандартных образцов оценивать вероятностные свойства, контролируемых величин в диапазоне изменений параметра контроля.

Разработана теория и метод оптимального по максимуму достоверности многоальтернативного распознавания уровней параметра контроля по подмножеству стохастических контролируемых величин. Доказано, что такое алгоритмическое преобразование может дополнять преобразования полиномиальные, повышая достоверность любого многопараметрического контроля, особенно при взаимозависимых контролируемых величинах.

Разработаны методы повышения достоверности контроля и функциональной диагностики динамических объектов по стохастическим сигналам со сложными видами нестационарности. Для этого синтезированы комплексные информативные параметры, на базе процедур разложения остаточной дисперсии таких сигналов на составляющие, избирательно чувствительных к скачкообразным изменениям заданных свойств контролируемых сигналов.

Разработан метод формирования максимально информативной системы контролируемых величин со смешанной неоднородностью, представленных многомерными нестационарными временными рядами. Получены расчётные формулы для оценки периода наблюдения при контроле и прогнозировании, с заданной достоверностью, прогрессирующих изменений свойств объекта контроля.

Рассмотрены практические задачи повышения достоверности: экспресс-контроля параметров состава сыпучего сельскохозяйственного сырья (семян подсолнечника); медицинской функциональной диагностики и динамического контроля внутрижелудочного давления; контроля переходных технологических режимов маслоэкстракционных установок; эксплуатационного контроля маслонаполненного высоковольтного энергетического оборудования. Результаты внедрения доказали возможную эффективность разработанных методов повышения достоверности.

Ключевые слова: методы повышения достоверности, многопараметрический контроль, функциональная диагностика, нестандартные образцы состава веществ, контролируемые величины, статистическая неоднородность, стохастические сигналы, статические решения, информативность, дестабилизирующие факторы.

Shchapov P.F. Method of improved control and diagnostics confidence of stochastic parameters for objects of different physical nature. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of Doctor of Science (Technology), Specialty 05.11.13 – Instruments and Methods of Control and Composition Determination of Substances. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2009.

The dissertation is aimed to solve an important applied science problem – improved multi-parametric control and functional diagnostics confidence of objects with stochastic parameters.

For static objects, such as biochemically complicated loose materials, a method was developed for taking statistically uniform non-standard samples of control parameter. In this a prescribed limit level of stochastic effect of material physico-chemical characteristics on regulated values, reproducible in learning, was ensured to prescribed confidence.

A selection method was developed of informative, as much as possible, subset of regulated values with discrete heterogeneity used in polynomial transformation models at indeterminate, due to short learning samples, model coefficients. For such models a method was developed to expand the primary transformation error into systemic, additive and multiplying components that enabled estimation of probabilistic properties, of regulated values within the range of control parameter alteration.

A theory and method were developed for confidence maximum optimal multi-alternative recognition of control parameter levels using a subset of stochastic regulated values. Such an algorithmic transformation was proved to be able to supplement polynomial transformations, thus improving the confidence of any multi-parametric control.

Some methods were developed to improve the confidence of control and functional diagnostics of dynamic objects on the basis of stochastic signals with complicated types of nonstationarity. To this end, complex informative parameters were synthesized on the basis of expansion procedures of residual variance of such signals.

A method was developed to form a maximum informative system of regulated values with mixed heterogeneity as represented by multidimensional nonstationary timing series. Calculation formulas were obtained to estimate observation period under control and prediction of progressing alteration of regulated object properties to prescribed confidence.

Some practical problems were studied in improvement of confidence: for spot control of composition parameters of loose agricultural products; medical functional diagnostics and dynamic control of transitional processing conditions; operational control of high-voltage electric equipment filled with oil.

Key words: confidence improvement methods, multi-parametric control, functional diagnostics, non-standard composition samples of substances, regulated values, statistical heterogeneity, stochastic signals, static solutions, informativeness, destabilizing factors.