

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

ФЕДОРОВИЧ АННА ІГОРІВНА



УДК 004.67: 620.179.1

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ ТА  
ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ**

*Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології*

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2016

Дисертацією є рукопис  
Робота виконана у Дніпропетровському національному університеті імені  
Олеся Гончара  
Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник**

Доктор технічних наук, професор  
**Малайчук Валентин Павлович**  
Дніпропетровський національний  
університет імені Олеся Гончара МОН  
України, завідувач кафедри  
радіоелектронної автоматики.

**Офіційні опоненти:**

Доктор технічних наук, професор  
**Мороз Борис Іванович**  
Університет митної справи та  
фінансів МОН України, декан  
факультету інформаційних та  
транспортних систем і технологій.

Кандидат технічних наук, доцент  
**Гнатушенко Вікторія Володимирівна**  
Національна металургійна академія МОН  
України, доцент кафедри  
інформаційних технологій і систем.

Захист відбудеться «29» червня 2016 року о 14:00 на засіданні спеціалізованої  
вченої ради К 08.051.01 у Дніпропетровському національному університеті імені  
Олеся Гончара за адресою, 49010, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 35, корп. 3.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного  
університету за адресою, м. Дніпропетровськ, вул. Казакова 8

Автореферат розіслано «27» травня 2016 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



С.В. Земляна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У задачах неруйнівного контролю багатопараметричних технічних систем, механізмів, блоків матеріалів інформація про їх стан міститься в експериментальних вимірах параметрів, які за своєю фізико-хімічною природою є випадковими величинами, а вимірювання їх спотворюються різного виду перешкодами і вимірювальним шумом. Залежно від ступеня цих відмінностей об'єкти контролю поділяються на два класи - бездефектні і дефектні, що знаходяться у стані норми і браку. При неруйнівному контролі об'єктів за вибірками експериментальних вимірювань їх параметрів ставиться завдання оцінки стану проконтрольованих об'єктів та прийняття рішень про те, до якого класу вони відносяться.

Задача неруйнівного контролю багатопараметричних об'єктів за експериментальними вимірами має свої особливості. Це обмеження на обсяг вимірювань та апріорні знання про статистичні закономірності і кореляційні зв'язки параметрів, незнання інтенсивності перешкод і вимірювального шуму, відмінності у зсувах і розкидах випадкових параметрів різної фізичної природи, незнання причинно-наслідкових зв'язків параметрів та їх інформативності. Все це ускладнює обробку вимірювань у задачах проектування інформаційних технологій контролю стану об'єктів за експериментальними вимірами і вимагає їх спеціальної обробки.

Роботи з даної тематики велися й ведуться досить інтенсивно (Ананьєв С. М., Бабак В. П., Єрмоєнко В. С., Кобзар А. І., Куренков М. І., Лебедев Б. Д., Лемешко С. Б., Маєвський С. М., Малайчук В. П., Міховський М., Попов О., Щербак Л. М., Bush J. R., De Lange E.M., Laubsher N. F., Steffence F. E., Torkkola K., Wieand H. S., Wunsch D. II, Xu Rui.). Проте багато питань тут або досліджені недостатньо повно, або орієнтовані на розв'язання вузьких прикладних задач. Зокрема, відсутній факторний аналіз причинно-наслідкових зв'язків між вимірювальними параметрами та експериментальними даними. Використовується нормування експериментальних вимірювань за усередненими середніми значеннями контрольованих параметрів та їх вибірковими дисперсіями без урахування статистичних зв'язків між ними, і це негативно впливає на інформативність параметрів об'єктів, що контролюються.

На сьогоднішній день найбільш популярним розв'язанням задач розпізнавання багатопараметричних об'єктів в умовах відсутності еталонів, у неруйнівному контролі та технічній діагностиці є метод, запропонований академіком Івахненком О.Г., але він має свої недоліки.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі вдосконалення проектування інформаційної технології неруйнівного контролю стану та технічної діагностики багатопараметричних об'єктів за експериментальними вимірами при нестачі даних про їх статистичні закономірності та обмеження на обсяг вимірювань.

Встановлено, що інформація про різницю стану об'єктів, що контролюються (норма або брак), міститься, в основному, в оцінках їх математичного сподівання, дисперсії та коваріації вимірювань параметрів, що характеризують ентропію випадкової величини, тож їх ентропійні перетворення можуть бути використані при

проектуванні інформаційних технологій неруйнівного контролю. Дослідження ентропійних перетворень експериментальних вимірювань у задачах дефектоскопії та технічної діагностики є актуальною науково-прикладною задачею, а також вдосконалення інформаційних технологій щодо стану багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Результати дисертаційної роботи отримані автором у процесі наукових досліджень на кафедрі радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара у 2008-2015 рр. Дослідження виконувались у рамках тематики держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: №6-174-08 «Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю та моніторингу відповідальних об'єктів машинобудування, енергетики та транспорту» (№ держреєстрації 0108U000639), №6-229-10 «Математичне забезпечення неруйнівного контролю, моніторингу і прогнозу стану виробів і агрегатів ракетно-космічної техніки і транспорту» (№ держреєстрації 0110U001291) та №2-282-13 «Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень в задачах технічної діагностики вузлів та агрегатів ракетно-космічної техніки» (№ держреєстрації 0113U003038). У наведених вище роботах здобувач був автором відповідних розділів.

**Мета** дослідження полягає у вирішенні актуальної науково-прикладної задачі створення інформаційної технології обробки експериментальних даних багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю та технічної діагностики, на основі використання їх ентропійних перетворень.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні **задачі**:

- проаналізувати сучасний стан обробки експериментальних вимірювань у задачах дефектоскопії та технічної діагностики багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю;

- шляхом проведення обчислювальних експериментів провести статистичний та факторний аналіз ентропійних перетворень багатовимірних вибірок випадкових величин для створення інформаційної технології;

- дослідити потенційні можливості та ефективність використання багатопараметричних ентропійних перетворювачів в задачах оцінки дефектності об'єктів неруйнівного контролю та проектування інформаційних технологій;

- дослідити можливості та ефективність застосування критеріїв непараметричної статистики у задачах порівняння зсувів і масштабів ентропійних перетворень випадкових величин та підготувати дані для підтримки прийняття рішень щодо аналізу стану об'єктів, що контролюються;

- дослідити можливості класифікації багатопараметричних об'єктів шляхом порівняльного аналізу зсувів і масштабів їх ентропійних перетворень.

**Об'єкт дослідження** – процес проектування інформаційної технології формування даних для прийняття рішень про дефектність багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю та технічної діагностики.

**Предмет дослідження** – математичні моделі і методи обробки ентропійних перетворень експериментальних багатопараметричних вимірювань в інформаційних технологіях неруйнівного контролю та технічної діагностики в умовах апіорної невизначеності знань про їх статистичні закономірності, впливу перешкод і обмежень на обсяг вимірювань.

**Методи дослідження.** Теорія ймовірностей та математична статистика; теорія розпізнавання і статистичних висновків; чисельні методи та обчислювальні експерименти.

**Наукова новизна** одержаних результатів. У проведеному дисертаційному дослідженні отримані нові наукові результати із проектування інформаційних технологій неруйнівного контролю та технічної діагностики. Отримані нові наукові результати наведені нижче.

1. Запропоновано нове нормування вимірювань параметрів різної фізичної природи об'єктів неруйнівного контролю та технічної діагностики шляхом їх ентропійного перетворення та представлення багатовимірних вибірок одновимірними без втрати інформації про їх зсуви, масштаби і кореляційні зв'язки.

2. Отримав подальший розвиток метод групового обліку аргументу за рахунок факторного аналізу інформативності вимірювань параметрів шляхом проведення обчислювальних експериментів з ентропійними перетвореннями вибірок та порівняння оцінок ймовірностей прийняття помилкових рішень.

3. Запропоновано формування і нове подання даних для підтримки прийняття рішень про дефектність багатопараметричних об'єктів контролю у вигляді оцінок ймовірності їх стану за багатьма можливими варіантами обробки ентропійних перетворень вибірок вимірювань.

4. Вперше шляхом проведення обчислювальних експериментів на моделях вибірок із різними законами розподілу, зсувами і масштабами була досліджена інформативність та ефективність багатьох відомих критеріїв непараметричної статистики та їх комплексне застосування в задачах неруйнівного контролю та технічної діагностики.

5. Запропоновано для підвищення ефективності оцінки зміни стану та класифікації безлічі багатопараметричних об'єктів в умовах повної апіорної невизначеності використовувати комплексно та одночасно три критерії: 1) зсуву – Ван-дер-Вардена; 2) масштабу – Клотца; 3) зсуву та масштабу – Буша-Вінда.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати проведеного дисертаційного дослідження дозволяють вирішити наступні практичні задачі:

1) оцінювати інформативність вимірюваних параметрів еталонних об'єктів неруйнівного контролю та технічної діагностики й очікувану ефективність контролю;

2) проектувати інформаційні технології обробки вимірювань параметрів контрольованих об'єктів і готувати дані для аналізу прийняття рішень про їх дефектність;

3) при відсутності еталонних об'єктів проводити класифікацію безлічі контрольованих багатопараметричних об'єктів, використовуючи ентропійні

перетворення вимірювань і критерії непараметричної статистики для перевірки гіпотези про рівність зсувів і масштабів об'єктів сформованих класів.

На основі проведених досліджень розроблено методичне і програмне забезпечення обробки експериментальних вимірювань у задачах контролю матеріалів блоків будь-яких технічних систем КБ «Південне». Воно також використовується у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара при викладанні дисциплін «Статистичні методи в неруйнівному контролі», «Обробка вимірювань та сигналів неруйнівного контролю» і «Проектування вимірювально-інформаційних технологій неруйнівного контролю», що підтверджено актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: в [1] – обґрунтування застосування непараметричних критеріїв Клотца та Буша-Вінда при періодичному контролі; в [3] – дослідження умовних ймовірностей виявлення дефектних ділянок та ймовірностей очікуваних втрат; в [5] – виявлення зменшення перешкод при застосуванні сингулярно-спектральних перетворень; в [6] – розгляд математичної моделі Марковських гама-послідовностей; в [7] – розгляд математичної моделі сумарно-різницевого перетворень дискретних рядів; в [11] – дослідження статистичних закономірностей ентропійних перетворень, виявлення інформативності вимірювальних параметрів за допомогою ентропійних перетворень; у [12] – дослідження статистичних закономірностей критерію Буша-Вінда; у [13] – дослідження впливу перешкод різної природи на корисні сигнали; у [18] – дослідження різного виду нормування при використанні ентропійних перетворень; в [19] – дослідження правомірності виключення квадратних доданків з обмеженого ряду Колмогорова-Габора.

**Апробація результатів.** Дисертація обговорювалась на наукових семінарах кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Основні наукові результати та положення дисертаційної роботи були представлені й обговорювалися на XIII Міжнародній конференції і виставці «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики» (Ялта, 2010), XII, XIII, XV, XVI, XVII Міжнародних молодіжних науково-практичних конференціях «Людина і космос» (Дніпропетровськ, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015), III Міжнародній конференції «Космічні технології: сьогодні та майбутнє» (Дніпропетровськ, 2011), науково-технічній конференції «Інформаційні технології у металургії та машинобудуванні» (ІТММ 2010-2012).

**Публікації.** За результатами наукових досліджень опубліковано дев'ятнадцять друкованих праць: десять статей у спеціалізованих виданнях [1-10], включених до переліку ВАК України, в тому числі стаття у виданні, що входить до наукометричної бази РІНЦ, а також дев'ять – у вигляді матеріалів наукових конференцій [11-19].

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 147 сторінок. Основний зміст викладено на 118 сторінках. Робота містить

37 рисунків та 58 таблиць. Перелік використаних джерел містить 107 найменувань. Додатки на 5 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми роботи, показано її зв'язок з науковими програмами, планами, темами: «Інформаційно-вимірвальні технології неруйнівного контролю та моніторингу відповідальних об'єктів машинобудування, енергетики та транспорту», «Математичне забезпечення неруйнівного контролю, моніторингу і прогнозу стану виробів і агрегатів ракетно-космічної техніки і транспорту», «Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень в задачах технічної діагностики вузлів та агрегатів ракетно-космічної техніки»; сформульовано мету і завдання дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, відмічено особистий внесок здобувача, стан публікацій впровадження, а також структуру і обсяг роботи.

У першому розділі роботи представлені результати проведеного аналізу вітчизняної та зарубіжної літератури за станом і тенденціями розвитку інформаційних технологій підготовки даних для підтримки прийняття рішень в задачах розпізнавання стану багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю за експериментальними вимірюваннями з невідомими статистичними закономірностями. Вирішення задачі оцінки стану дефектності багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю з урахуванням багатьох особливостей експериментальних вимірювань мало вивчені. У статистичній теорії розпізнавання запропоновано рішення за критерієм мінімуму математичного сподівання вартості прийняття хибних рішень першого та другого роду при заданих законах розподілу ймовірностей вимірювань параметрів об'єктів контролю у стані норми і в стані браку. Якщо закони розподілу невідомі, але задані вибірки вимірювань параметрів еталонних об'єктів контролю, то запропоновано вирішення на основі розкладання логарифма відношення функції правдоподібності в ряд Колмогорова-Габора та визначення коефіцієнтів цього ряду за нормованими експериментальними еталонними вимірами, оцінками середніх значень параметрів із використанням методу групового обліку аргументу Івахненка О.Г.

Недоліками цього методу є: 1) необхідність нормування експериментальних вимірювань за усередненими середніми значеннями вимірювань контрольованих параметрів та їх вибілковими дисперсіями без урахування статистичних зв'язків між ними, і це негативно впливає на інформативність параметрів об'єктів, що контролюються; 2) при формуванні скінченного апроксимованого поліному Колмогорова-Габора для логарифму відношення правдоподібності шляхом розрахунку часткових поліномів збільшуються помилки оцінок його коефіцієнтів та ймовірності помилок контролю першого і другого роду.

За результатами аналізу робіт, висвітлених у розділі, сформульована мета дисертаційної роботи та визначені завдання, які мають бути вирішені.

У другому розділі роботи наведені результати дослідження потенційних можливостей використання ентропійних перетворень одновимірних та двовимірних випадкових величин в задачах дефектоскопії. Ентропію одного виміру у вибірці

випадкових незалежних із нормальним (гаусовим) законом розподілу ймовірностей параметрів можна визначити за формулою

$$L(x) = -\ln W(x) = \ln(\sqrt{2\pi D}) + \frac{(x-a)^2}{2D}, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $D$  математичне сподівання і дисперсія вимірюваного параметра.

Для ентропійних перетворень статистично залежних нормальних вимірювань двох параметрів формула запишеться у вигляді

$$L(x_1, x_2) = -\ln W(x_1, x_2) = \ln(2\pi\sqrt{D_1 D_2 (1-r^2)}) + \frac{1}{2(1-r^2)} \left[ \left( \frac{x_1 - a_1}{\sqrt{D_1}} \right)^2 - \frac{2r(x_1 - a_1)(x_2 - a_2)}{\sqrt{D_1 D_2}} + \left( \frac{x_2 - a_2}{\sqrt{D_2}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де  $r$  коефіцієнт кореляції вимірювань  $x_1, x_2$ .

Вирази (1) і (2) можна розглядати як математичні моделі однопараметричних та двопараметричних ентропійних перетворювачів для формування одновимірних ентропійних вибірок, як, наприклад,

$$L(x_1, x_2, x_3) = L(x_1) + L(x_2, x_3), \quad (3)$$

$$L(x_1, x_2, x_3) = L(x_2) + L(x_1, x_3), \quad (4)$$

$$L(x_1, x_2, x_3) = L(x_3) + L(x_1, x_2). \quad (5)$$

Шляхом проведення обчислювальних експериментів вивчались статистичні закономірності ентропійних перетворень вибірок випадкових величин із різними статистичними закономірностями, які відрізняються своїми законами розподілу ймовірностей та параметрами. На рисунку 1 представлені гістограми ентропійних вибірок на виході перетворювача (2), які різняться лише за видом закону розподілу ймовірностей (гаусовий та експоненціальний).

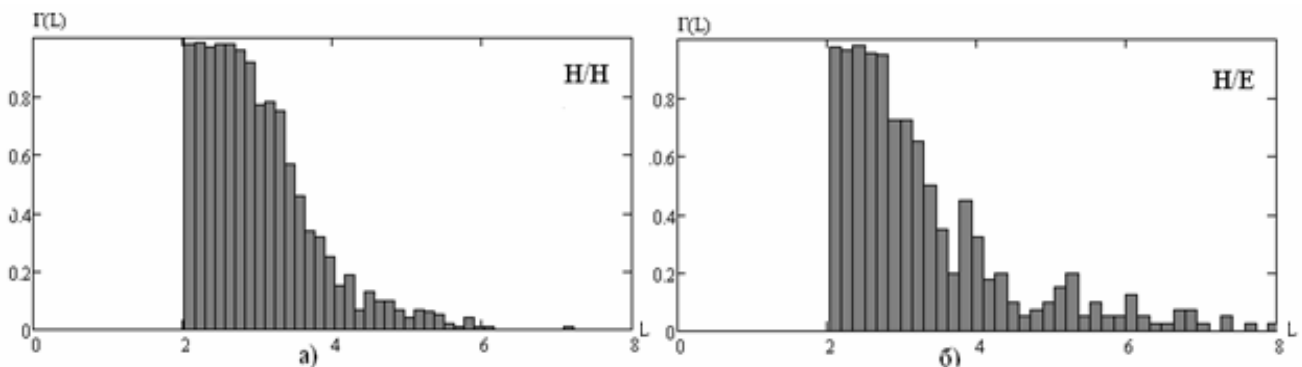


Рисунок 1 – Гістограми ентропійних перетворень: а) нормальні випадкові величини і нормальний ентропійний перетворювач; б) експоненціальні випадкові величини і нормальний ентропійний перетворювач



Із аналізу рисунка 1 випливає, що зміна закону розподілу ймовірностей вхідних випадкових величин впливає лише на дисперсію ентропійних перетворень, а математичне сподівання та вид закону розподілу залишається незмінними. На рисунку 2 представлені гістограми ентропійних вибірок на виході перетворювача (2) гаусових випадкових величин із параметрами, що змінюються (зсувами або масштабами).

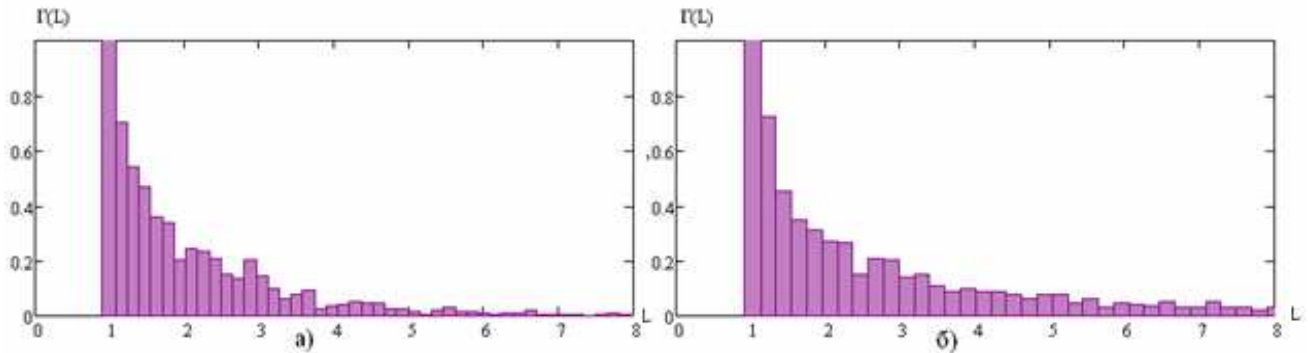


Рисунок 2 – Гістограми ентропійних перетворень: а) змінюється лише математичне сподівання; б) змінюється лише дисперсія

Встановлено, що зміна у вхідних даних лише математичного сподівання або лише дисперсії зміщує гістограму ліворуч, не змінюючи виду її закону розподілу ймовірностей, тобто математичне сподівання ентропійних перетворень зменшується, в порівнянні з випадком абсолютної ідентичності вхідних даних та параметрів перетворювача. Аналогічні висновки можна зробити і при зміні лише дисперсії вхідних даних. При цьому в обох випадках вибірккові дисперсії ентропійних вибірок відрізняються несуттєво. Ці властивості багатопараметричних ентропійних вибірок випадкових величин дозволяють вирішувати задачі дефектоскопії. При цьому, якщо задані еталонні об'єкти контролю та їх експериментальні вибірки вимірювань кожного параметру в стані норми та в бракованому стані, то за ними оцінюється математичне сподівання як середнє значення, вибірккові дисперсії та коефіцієнти кореляції, та формуються два класи математичних моделей ентропійних перетворювачів норми та браку відповідно.

Ентропійне перетворення вимірювань параметрів різної фізичної, хімічної та біологічної природи – це спосіб представлення їх в одних і тих же одиницях у задачах неруйнівного контролю та технічної діагностики при обробці, аналізі та підготовці даних для підтримки прийняття рішень за експериментальними вибірками вимірювань із невідомими статистичними закономірностями.

Математичні моделі двох ентропійних багатовимірних перетворювачів формуються за еталонними вибірками вимірювань об'єктів, що знаходяться у стані норми або браку, відрізняються своїми зсувами, масштабами і кореляційними зв'язками. Багатопараметричні вимірювання кожного контрольованого об'єкта перетворюються у дві одномірні ентропійні вибірки, різниця між якими містить інформацію щодо стану об'єкту контролю, і за нею оцінюється ймовірність приналежності цих об'єктів до класу бездефектних.

Для візуального аналізу формуються оцінки приналежності множини варіантів вибірок ентропійних перетворень одновимірних і двовимірних вимірювань, на

основі яких робляться висновки про інформативність вимірюваних параметрів, їх причинно-наслідкові зв'язки ефективність прийняття рішень про стан проконтрольованого об'єкта.

**У третьому розділі роботи.** Розглянуті трипараметричні об'єкти неруйнівного контролю та їх однопараметричні  $L_H(x_i(k))$  і  $L_B(x_i(k))$  та двопараметричні  $L_H(x_i(k), x_j(k))$  і  $L_B(x_i(k), x_j(k))$ , де  $i = 1, 2, 3$ ,  $j = 1, 2, 3$ ,  $i \neq j$  ентропійні перетворення. Із них можливо формувати різні моделі ентропійних перетворювачів норми та браку – однопараметричні, двопараметричні та трипараметричні. Порівняльний аналіз вибірок ентропійних перетворень для «норми» та «браку», дозволяє оцінити інформативність вимірювальних параметрів та встановити причинно-наслідкові зв'язки між ними та станом об'єкта, що контролюється.

Функціональна схема формування та обробки системи ентропійних вибірок за експериментальними вимірюваннями  $x_1(k)$ ,  $x_2(k)$ ,  $x_3(k)$  трьох параметрів об'єкту, що контролюється, представлена на рисунку 3.

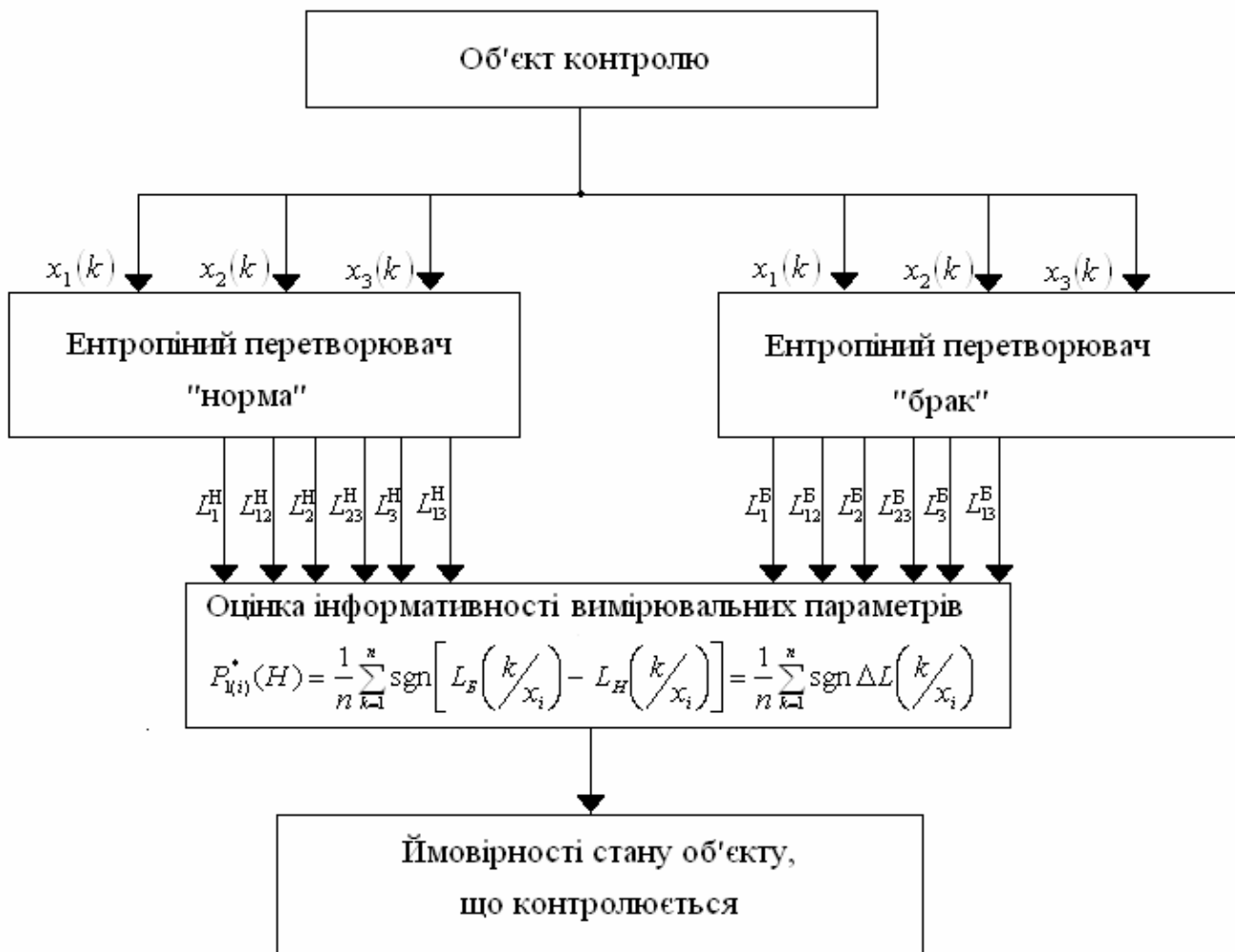


Рисунок 3 – Функціональна схема обробки вибірок вимірювань об'єктів, що контролюються

Ентропійні вибірки можуть бути одновимірні  $L(x_i(k))$ , двовимірні  $L(x_i(k)x_j(k))$  та тривимірні  $L(x_1(k)x_2(k), x_3(k))$ . Якщо має місце нерівність  $L_H(x(k)) < L_B(x(k))$ , то вимірювання  $x(k)$  належать об'єкту у стані «норми». Умовні ймовірності цієї події оцінюються за формулою

$$P^*\left(\frac{H}{L}\right) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \text{sgn}[L_B(k) - L_H(k)], \quad (6)$$

де  $\text{sgn}(x)$  – функція одиничного стрибка.

Ймовірності  $P^*\left(\frac{H}{L}\right)$  усіх ентропійних вибірок аналізуються та за ними приймається рішення. За допомогою формули (6) є можливість оцінити інформативність кожного з вимірювальних параметрів та всілякі сполучення і комбінації цих параметрів.

Запропоновано і досліджено новий метод проектування інформаційної технології дефектоскопії та технічної діагностики багатопараметричних об'єктів на основі ентропійних перетворювань вибірок експериментальних вимірювань. Цей метод відрізняється від методу групового обліку аргументів факторним аналізом інформативності вимірюваних параметрів шляхом порівняння оцінок ймовірностей прийняття рішень щодо стану контрольованих об'єктів (або норма, або брак) за критерієм мінімуму вартості прийняття помилкових рішень (помилки першого і другого роду). Значення вартості прийняття помилкових рішень обираються обернено пропорційно до ймовірностей появи на виробництві нормальних або бракованих виробів. Ці ймовірності є показниками якості виробництва.

Встановлено, що причинно-наслідкові зв'язки між станом контролюючих об'єктів та їх параметрами впливають на кореляційні зв'язки між вимірюваннями і відображаються в одновимірних, двовимірних і трьохвимірних ентропійних перетворюваннях, а також в оцінках ймовірностей рішень, що приймаються за ними щодо стану «норми» чи «браку».

Встановлено також, що кореляція між параметрами зменшує їх інформативність при прийнятті рішень.

Досліджувались розміри вибірок еталонів перетворювачів та вимірювань контролюючих об'єктів на інформативність параметрів при прийнятті рішень та оцінці їх ймовірностей. Встановлено, що розміри вибірок вимірювань параметрів еталонних вимірювань у задачах дефектоскопії не повинні бути менше 30-50.

Оскільки контролюються об'єкти з випадковими параметрами, то ентропійні перетворювачі повинні бути адаптованими: їх параметри контролюються й уточнюються по мірі накопичення даних про стан об'єктів контролю.

**У четвертому розділі роботи** розглянуті та досліджені критерії непараметричної статистики. Серед багатьох обрані найефективніші з погляду розпізнавання різниці між параметрами об'єктів неруйнівного контролю. На основі використання одночасно трьох непараметричних критеріїв, Клотца, Ван-дер-Вардена та Буша-Вінда запропоновано алгоритм підтримки прийняття рішень, щодо стану об'єкта контролю, та встановлення причинно-наслідкових зв'язків між зміною вимірювальних параметрів та станом виробу, що контролюється.

Для підтримки прийняття рішень щодо змін стану об'єкта неруйнівного контролю запропоновано алгоритм обробки вимірювань параметрів цих об'єктів. Цей алгоритм складається з наступних пунктів.

1. Обчислення коефіцієнту асиметрії  $k_{as}^* = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^3}{D^*[x]^{2/3}}$ .

2. Сортування вхідних даних за зростанням

3. Обчислення рангів за формулами:

$$R_1(k) = \sum_{i=1}^{2n} \text{sgn}(x_1(k) - z(i)), \quad R_2(k) = \sum_{i=1}^{2n} \text{sgn}(x_2(k) - z(i)) \quad (7)$$

де  $\text{sgn}(z)$  – функція одиничного стрибка,  $z(i)$  – у узагальненій впорядкованій вибірці, де  $i = 1, 2, \dots, 2n$ .

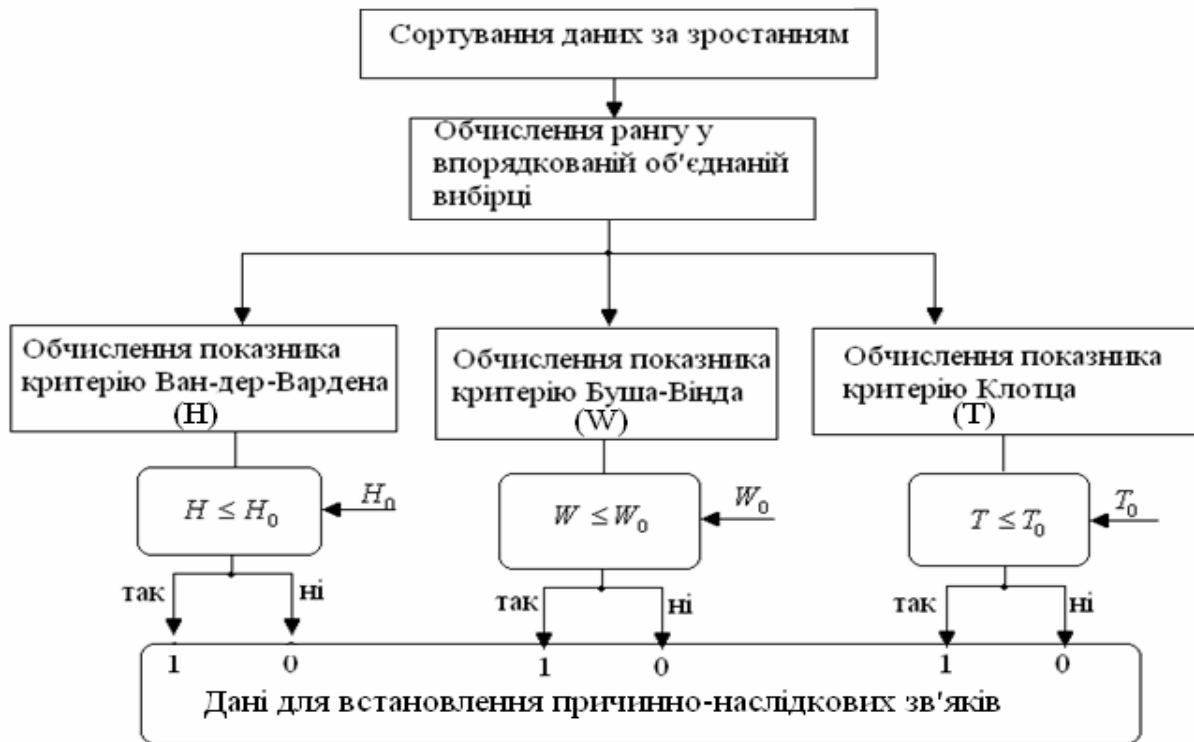
4. Обчислення значень критеріїв Клотца, Стьюдента, Ван-дер-Вардена, Фішера та Буша-Вінда за відповідними формулами.

5. Порівняння отриманих в п.4 значень із пороговими, значення яких надаються в таблицях математичної статистики.

6. Якщо умова п. 5 виконуються, то на вихід потрапляє 1, якщо ні – 0.

7. Комбінація із п'яти нулів та одиниць являє собою дані для підтримки прийняття рішення щодо стану об'єкта контролю із урахуванням класу симетричних або асиметричних випадкових величин.

Схема алгоритму представлена на рисунку 4.



де  $H_0, W_0, T_0$  - порогові значення для вказаних критеріїв

Рисунок 4 – Схема алгоритму підтримки прийняття рішення про стан об'єкту контролю за трьома критеріями непараметричної статистики

Шляхом проведення обчислювальних експериментів серед багатьох критеріїв непараметричної статистики було обрано три з найбільшою ефективністю розпізнавання відмінностей параметрів вхідних даних. А саме, критерій Ван-дер-Вардена, який є ефективнішим за інші – 11 непараметричних критеріїв зсуву на 18%. Мається на увазі, що цей критерій здатен розпізнавати наявність різниці у зсувах, незважаючи на види законів розподілу ймовірностей вхідних даних, яка на 18% менша, ніж інші критерії непараметричної статистики зсуву. Серед непараметричних критеріїв масштабу обрано критерій Клотца, як ефективніший за інші на 15%, та комплексний критерій Буша-Вінда, оскільки він дозволяє розпізнавати наявність різниці, як у зсуві так і в масштабі, що особливо важливо для випадку, коли вхідні дані підпорядковуються асиметричним законам розподілу ймовірностей, які мають лише один параметр, а отже, його зміна призводить до відмінностей зсуву та масштабу одночасно.

Досліджено розмір вибірок, що надходять для обробки, та наявність кореляції між ними. Встановлено, що кореляційні зв'язки зменшують ефективність критеріїв непараметричної статистики.

Запропоновано і досліджено новий метод підготовки даних для підтримки прийняття рішень щодо стану об'єкта неруйнівного контролю, на основі застосування одночасно трьох критеріїв непараметричної статистики: критерію зсуву Ван-дер-Вардена, критерію масштабу Клотца та комплексного критерію Буша-Вінда. Цей підхід відрізняється від окремого застосування вказаних критеріїв у задачах дефектоскопії та неруйнівного контролю тим, що дозволяє встановлювати, які саме зміни відбулися в об'єкті, що контролюється.

**У п'ятому розділі роботи** запропоновано алгоритм створення тривимірних нормальних випадкових величин для можливості моделювання багатопараметричних виробів неруйнівного контролю. Тривимірний закон розподілу ймовірностей запишеться у вигляді:

$$W(z_1 z_2 z_3) = \frac{\exp\left[-\frac{A_{11}z_1^2 + A_{22}z_2^2 + A_{33}z_3^2 - 2A_{12}z_1z_2 - 2A_{13}z_1z_3 - 2A_{23}z_2z_3}{2(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})}\right]}{\sqrt{(2\pi)^3(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})}}. \quad (11)$$

Вважаючи відомими коефіцієнти кореляції, можна записати вираз для умовних законів розподілу ймовірностей:

$$W(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z_1^2}{2}\right), \quad (12)$$

$$W\left(\frac{z_2}{z_1}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1 - r_{12}^2)}} \exp\left(-\frac{(z_2 - r_{12}z_1)^2}{2(1 - r_{12}^2)}\right), \quad (13)$$

$$W\left(\frac{z_3}{z_1 z_2}\right) = \frac{\exp\left[-\frac{\left(z_3 - \frac{A_{13}}{1-r_{12}^2}z_1 - \frac{A_{23}}{1-r_{12}^2}z_2\right)^2}{2(1-r_{12}^2)^{-1}(1-r_{12}^2-r_{13}^2-r_{23}^2+2r_{12}r_{13}r_{23})}\right]}{\sqrt{2\pi}\left(1-\frac{r_{13}^2+r_{23}^2-2r_{12}r_{23}r_{13}}{1-r_{12}^2}\right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (14)$$

Умовні математичні сподівання та дисперсії дорівнюють  $M[z_1]=0$ ,  $M\left[\frac{z_2}{z_1}\right]=r_{12}z_1$ ,

$$M\left[\frac{z_3}{z_1 z_2}\right] = \frac{r_{13}-r_{12}r_{23}}{1-r_{12}}z_1 + \frac{r_{23}-r_{12}r_{13}}{1-r_{12}}z_2, \quad D[z_1]=1, \quad D\left[\frac{z_2}{z_1}\right]=1-r_{12}^2,$$

$$D\left[\frac{z_3}{z_1 z_2}\right] = 1 - \frac{r_{13}^2+r_{23}^2-2r_{12}r_{23}r_{13}}{1-r_{12}^2}.$$

Ці знання дозволяють формувати тривимірні вибірки випадкових величин при проведенні обчислювальних експериментів. Якщо  $z_1 = \xi_1$ ,  $z_2 = r_{12}\xi_1 + \sqrt{1-r_{12}^2}\xi_2$ ,  $z_3 = b_1z_1 + b_2z_2 + b_3\xi_3$ . Коефіцієнти  $b_1, b_2, b_3$  визначимо з системи рівнянь

$$\begin{cases} r_{13} = b_1 + b_2r_{12}, \\ r_{23} = b_1r_{12} + b_2, \\ 1 = b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + 2b_1b_2r_{12}. \end{cases} \quad (15)$$

Вирішивши систему рівнянь (15) отримаємо коефіцієнти  $b_1 = \frac{r_{13}-r_{12}r_{23}}{1-r_{12}^2}$ ,

$$b_2 = \frac{r_{23}-r_{12}r_{13}}{1-r_{12}^2}, \quad b_3^2 = 1 - \left[ \left[ \frac{r_{12}(r_{13}-r_{23}r_{12})}{1-r_{12}^2} + \frac{r_{23}-r_{13}r_{12}}{1-r_{12}^2} \right]^2 + \left[ \frac{r_{13}-r_{12}r_{23}}{\sqrt{1-r_{12}^2}} \right]^2 \right].$$

За допомогою об'єднання ентропійних перетворень та комплексного критерію непараметричної статистики Буша-Вінда проводиться класифікація об'єктів контролю. Вона дозволяє поділити об'єкти не лише на два класи – норма та брак, а і на кількість відмінних між собою виробів. Відмінності можуть бути лише в кореляційних зв'язках, у різницях між зсувами або масштабами, у відмінності законів розподілу ймовірностей, або у довільних комбінаціях між цими показниками. Встановлені таким чином причинно-наслідкові зв'язки між вимірювальними параметрами об'єктів контролю та їх відношенням до певного класу дозволяють корегувати технологію виробництва. При цьому побудовані на основі розглянутих методів вирішальні правила можуть бути адаптовані та

уточнюватись у процесі проведення неруйнівного контролю та накопичення даних про об'єкти, що контролюються.

Загальну схему запропонованої інформаційно-виміральної технології зображено на рисунку 5.

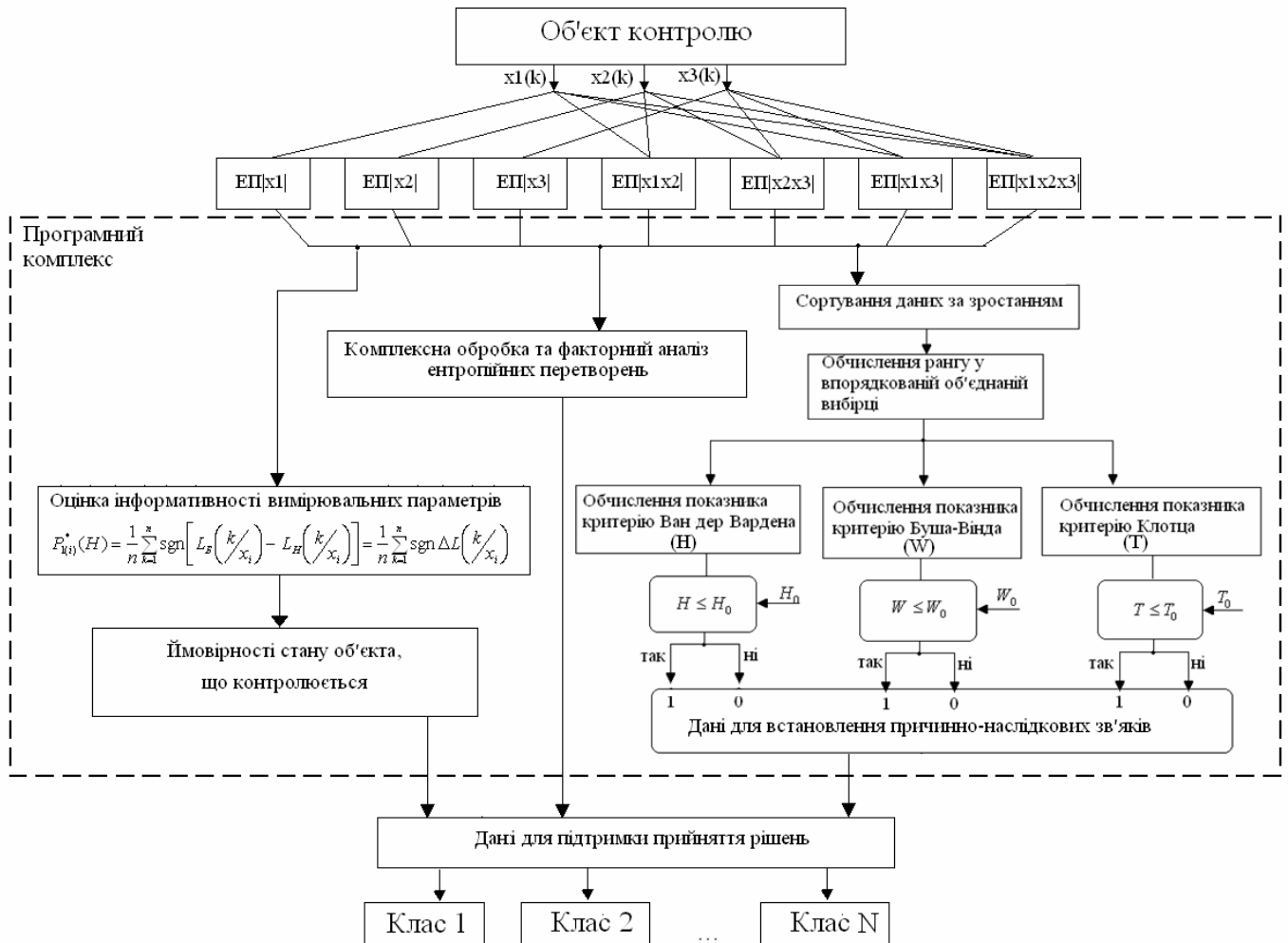


Рисунок 5 – Структура інформаційно-виміральної технології обробки експериментальних даних

Виходячи з означення інформаційної технології, можна стверджувати, що запропонована структурна схема інформаційної технології відповідає вимогам збору, зберігання, обробки за допомогою нових алгоритмів та подання інформації.

При застосуванні запропонованої технології на практиці оброблялись дані 102 багатопараметричних об'єктів, параметри яких мають різну фізичну природу та одиниці вимірювань. Приклад даних, що оброблялись, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані проконтрольованих об'єктів

Об'єкти контролю	Параметри, що контролюються										
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$
$O_1$	4,8	30	63	901	19	128	1440	3236	132	4,3	199
$O_2$	6,4	25	51	810	27	190	1415	2645	122	3,8	185
$O_3$	4,9	33	83	1093	17	219	1310	2754	135	4,73	194
$O_4$	5,7	25	94	1038	17	237	1425	2898	152	5,14	188
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$O_{102}$	4,5	35	77	1052	23	233	1392	3104	128	4,42	181

Необхідно було поділити ці об'єкти на класи, не маючи жодної апріорної інформації щодо їх кількості або еталонних виробів. В результаті застосування запропонованої інформаційної технології ці об'єкти було поділено на три класи. До першого класу увійшло 32 об'єкти, до другого – 25 об'єктів та до третього – 45 об'єктів. Якщо порівнювати ці результати з класифікацією проведеною на підприємстві, то маємо різницю між першим та другим класом у одну одиницю. Тобто до першого класу належать 33 об'єкти, а до другого – 24. Маємо помилку у 3%.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи вирішене актуальне наукове і практичне завдання – розроблено інформаційну технологію дефектоскопії багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю за експериментальними даними.

1. Зроблено аналіз існуючих методів і підходів обробки даних багатопараметричних об'єктів в умовах апріорної невизначеності, що дозволило визначити необхідність побудови вирішальних правил неруйнівного контролю та технічної діагностики без нормування експериментальних даних.

2. Розроблено інформаційну технологію підготовки даних для візуального аналізу та прийняття рішень про дефектність багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю з випадковими параметрами шляхом обробки ентропійних перетворень експериментальних вимірювань вдосконаленим методом групового обліку аргументів в умовах апріорної невизначеності щодо статистичних закономірностей, впливу перешкод та обмежень на обсяг вимірювань.

3. Досліджено статистичні закономірності ентропійного перетворення вибірок випадкових величин при змінах зсувів, масштабів та коефіцієнтів взаємної кореляції вибірок експериментальних вимірювань об'єктів, що контролюються. Доведена можливість їх використання при вирішенні задач проектування інформаційних технологій дефектоскопії.

4. Запропоновано новий метод проектування інформаційних технологій дослідження дефектності і технічної діагностики багатопараметричних об'єктів неруйнівного контролю шляхом доповнення методу групового обліку аргументів факторним аналізом інформативності параметрів, що вимірюються, на основі оцінок



ймовірностей прийняття помилкових рішень. Отримані результати дозволяють не нормувати експериментальні дані, що суттєво розширює можливості аналізу, оскільки враховуються зв'язки між параметрами.

5. Встановлено, що причинно-наслідкові зв'язки між станом об'єктів, що контролюються, та їх параметрами впливають на кореляційні залежності вимірювань і відображаються у вибірках їх ентропійних перетворень та оцінках ймовірностей рішень, що за ними приймаються. Цей факт дозволяє зменшувати ймовірність помилкових рішень щодо стану об'єкту контролю.

6. Шляхом ентропійного перетворення багатопараметричні вибірки вимірювань трансформуються в однопараметричні, це дозволяє для оцінки їх однорідності використовувати непараметричні критерії зсувів та масштабів. Встановлено, що з 11 непараметричних критеріїв зсуву найбільш ефективним є критерій Ван-дер-Вардена, а серед критеріїв масштабу – критерій Клотца.

7. Вперше пропонується використовувати одночасно критерії Ван-дер-Вардена, Клотца та Буша-Вінда, які дозволяють виявляти зміни зсуву та масштабу ентропійних вибірок вимірювань в задачах класифікації множини об'єктів контролю при відсутності вибірок вимірювань еталонних зразків. Це дозволило не лише підвищити достовірність рішень, що приймаються, але й проводити порівняльний аналіз вимірювань параметрів, що контролюються, та оцінити їх причинно-наслідкові зв'язки.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Малайчук В. П. Критерии непараметрической статистики Клотца и Буша-Винда в задачах периодического контроля технических объектов / В. П. Малайчук, Н. А. Лысенко, **А. И. Федорович** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2010. – № 2 (67). – С. 127-135.

2. **Федорович А. И.** Критерии Буша-Винда в задачах мониторинга технических объектов / А. И. Федорович // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2010. – № 4 (69). – С. 36-44.

3. Малайчук В. П. Обработка измерений в задачах дефектоскопии линейно протяженных объектов по критерию минимума условного риска / В. П. Малайчук, А. В. Кошулян, **А. И. Федорович** // Вісник академії митної служби України. – 2010. – № 2 (44). – С. 117-122.

4. **Федорович А. И.** Исследование статистики собственных чисел матриц Ганкеля / А. И. Федорович // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2010. – № 5 (70). – С. 55-61.

5. Малайчук В. П. Уменьшения влияния помех различного вида при помощи сингулярно-спектрального анализа / В. П. Малайчук, **А. И. Федорович** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2011. – № 4 (75). – С. 62-66.

6. Малайчук В. П. Математическое моделирование Марковских гамма-последовательностей / В. П. Малайчук, **А. И. Федорович** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2011. – № 6 (77). – С. 12-19.

7. Малайчук В. П. Математические модели суммарно-разностных преобразований дискретных временных рядов / В. П. Малайчук, **А. И. Федорович** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2012. – № 3 (80). – С. 79-85

8. **Федорович А. И.** Исследование непараметрических критериев сдвига в задачах неразрушающего контроля / А. И. Федорович // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2014. – № 2 (91). – С. 18-22.

9. **Федорович А. И.** Исследование непараметрических критериев масштаба в задачах неразрушающего контроля / А. И. Федорович // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2015. – № 3 (98). – С. 132-138. Цитується у базах: Index Copernicus

10. **Fedorovich A.** Classification of facilities multi parameters experimental measurements of their parameters / A. Fedorovich // European science review. – 2015. – № 7-8 July-August. – P. 140-142. Цитується у базах: РІНЦ

11. Петренко А. Н., **Федорович А. И.** Критерий непараметрической статистики Буша-Винда в задачах периодического контроля технических объектов / А. Н. Петренко, А. И. Федорович // XII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція “Людина і космос” : збірник тез. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 220.

12. Петренко А. Н., **Федорович А. И.** Уменьшения влияния различного типа помех на полезный сигнал при помощи сингулярно-спектрального анализа / А. Н. Петренко, А. И. Федорович // XIII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція “Людина і космос” : збірник тез. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 226.

13. **Федорович А. И.** Критерий Буша-Винда в задачах мониторинга технических объектов / А. И. Федорович // Материалы XVIII международной конференции и выставки «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» (г. Ялта). – Киев, 2010. – С.13-16.

14. **Федорович А. И.** Уменьшения влияния помех различного вида при помощи сингулярно-спектрального анализа / А. И. Федорович // III международная конференция «Космические технологии: настоящее и будущее» : Збірник тез. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 86.

15. **Федорович А. И.** Математическое моделирование нестационарных автокоррелированных последовательностей в задачах неразрушающего контроля / А. И. Федорович // XV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція “Людина і космос” : збірник тез. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2013. – С. 285.

16. **Федорович А. И.** Критерии непараметрической статистики сдвига в задачах распознавания объектов неразрушающего контроля / А. И. Федорович // XVI Міжнародна молодіжна науково-практична конференція “Людина і космос” : збірник тез. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2014. – С. 251.

17. Никитенко Д. В. Энтропийные преобразования нормированных случайных величин / Д. В. Никитенко, **А. И. Федорович** // XVII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція “Людина і космос” : збірник тез. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2015. – С. 198.

18. Подольская В. А. Метод группового учёта аргументов в задачах дефектоскопии многопараметрических объектов контроля / В. А. Подольская, **А. И.**

**Федорович** // XVII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2015. – С. 200.

19. Подольская В. А. Компьютерная модель для исследования энтропийных преобразований измерений в задачах дефектоскопии многопараметрических объектов / В. А. Подольская, **А. И. Федорович** // I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем»: збірник тез. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2015. – С. 149-152.

### АНОТАЦІЯ

Федорович А. І. Інформаційно-вимірювальна технологія неруйнівного контролю та технічної діагностики багатопараметричних об'єктів за експериментальними даними. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара МОН України, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню якості неруйнівного контролю та технічної діагностики багатовимірних об'єктів із випадковими параметрами за експериментальними даними.

У роботі наведені результати розробки інформаційної технології підтримки прийняття рішень щодо стану контрольованих об'єктів на основі ентропійних перетворень їх багатовимірних параметрів.

Наведено алгоритм використання одночасно трьох критеріїв непараметричної статистики для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між параметрами, що вимірюються, та станом об'єкта неруйнівного контролю.

На базі створеної інформаційної технології та при використанні комплексно з нею ентропійних перетворень тривимірних об'єктів неруйнівного контролю запропоновано метод класифікації об'єктів, що контролюються, з урахуванням причин відмінності одного об'єкта від іншого.

Розроблені результати впроваджені для технічної діагностики та неруйнівного контролю деталей і вузлів КБ «Південне» та в навчальний процес Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, ентропійні перетворення, непараметрична статистика, класифікація об'єктів.

### АННОТАЦИЯ

Федорович А.И. Информационно-измерительная технология неразрушающего контроля и технической диагностики многопараметрических объектов по экспериментальным данным. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара МОН Украины, Днепропетровск, 2016.

Диссертация посвящена повышению качества неразрушающего контроля и технической диагностики многомерных объектов со случайными параметрами по экспериментальным данным.

Вся информация про объект контроля заложена в измерениях его параметров. Усовершенствование метода группового учёта аргументов, а именно, дополнение его факторным анализом и уход от нормировки входных данных, позволяет определять причинно-следственные связи между изменением параметров объекта контроля и его измерениями. Отказ от нормировки входных данных различной физической природы даёт возможность учитывать статистические связи между параметрами объекта контроля. Энтропийные преобразования входных данных используются как при факторном анализе, так и для определения наиболее эффективных из измеряемых параметров. Это позволяет сократить количество измерений, оставляя общий объём информации об объекте контроля практически без изменений. При этом решающее правило распознавания, основанное на энтропийных преобразованиях, позволяет получить данные для поддержки принятия решений оператором о состоянии контролируемого объекта – «норма» или «брак». С другой стороны, возникает задача классификации множества многопараметрических объектов при отсутствии эталонов «нормы» и «брака». В работе предложена классификация таких объектов неразрушающего контроля. По средствам энтропийных преобразований многомерные данные превращаются в одномерные. Дальнейшая их обработка происходит по впервые предложенному алгоритму на основе одновременного использования трёх критериев непараметрической статистики (Ван-дер-Вардена, Клотца и Буша-Винда).

Комплексное использование полученных в работе решающих правил и алгоритмов позволяет построить информационную технологию для поддержки принятия решений оператором при обработке данных многопараметрических объектов. Что в свою очередь даёт возможность уменьшить затраты на измерения и повысить вероятность принятия правильных решений о состоянии контролируемого объекта.

**Ключевые слова:** информационная технология, энтропийные преобразования, непараметрическая статистика, классификация объектов.

#### ANNOTATION

Fedorovich A. I. Information and Measuring Technology for Nondestructive Testing and Technical Diagnostics of Multiparameter Objects from the Experimental Data. – Manuscript Copyright.

A Thesis submitted for the Candidate of Technical sciences degree, specialty 05.13.06 – information technologies. – Oles Honchar Dnipropetrovsk National University of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2016.

The dissertation is devoted to improving the quality of non-destructive testing and technical diagnostics of multi-dimensional objects with random parameters from experimental data.

The paper presents the results of developing information technology to support decision-making as for the state of the tested objects on the base of entropy transformations of their multi-dimensional parameter.

The study exposes the algorithm of the simultaneous use of three criteria of nonparametric statistics to establish cause-and-effect relations between the parameters that are measured and the state of the object of nondestructive testing.

On the base of the established information technology and by using it in conjunction with entropy transformations of three-dimensional objects of nondestructive testing, the research provides a method of classifying the tested objects, taking into consideration the causes of differentiating one object from another.

The results of the exploration are implemented for technical diagnostics and nondestructive testing of parts and assemblies of the DO "Yuzhnoye" and into the educational process of the Oles Honchar Dnipropetrovsk National University.

**Keywords:** information technology, entropy transformation, nonparametric statistics, classification of objects.

Підписано до друку 26.05.16. Формат 60x84/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 пр. Зам. № 359.

Віддруковано в «Поліграфцентрі» ФОП Кучугурний Ю.М.,  
свідоцтво про державну реєстрацію №2 224 000 0000 073863,  
м. Дніпропетровськ, вул. Леніна, 11, 49000,  
Тел.: (056) 735-50-08