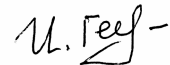


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**  
**«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**Гетьман Ірина Анатоліївна**



УДК 681.518.5+004.93

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА**  
**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ВИГЛЯДУ**  
**КЕРАМІЧНИХ ПЛИТОК**

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

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

Донецьк – 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України, м. Донецьк.

Науковий керівник: Заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук, професор  
**Зорі Анатолій Анатолійович**,  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
завідувач кафедри «Електронна техніка» (м. Донецьк)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Щапов Павло Федорович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри «Інформаційно-вимірювальні  
технології і системи» (м. Харків);

доктор технічних наук, доцент  
**Іванов Дмитро Євгенович**,  
Інститут прикладної математики та механіки  
Національної академії наук України (м. Донецьк),  
старший науковий співробітник

Захист відбудеться 26 червня 2014 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.03 у ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою:  
83001, м. Донецьк, вул. Артема 58, уч. корпус 8, ауд. 704.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Донецького національного технічного університету за адресою:  
83001, м. Донецьк, вул. Артема 58, корпус 2.

Автореферат розісланий «23» травня 2014 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 11.052.03,  
кандидат технічних наук, доцент



Г.В. Мокрий

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Керамічне виробництво характеризується складністю технологічних процесів, високими вимогами до якості готових виробів (зокрема, глазурованих і декорованих керамічних плиток), зовнішній вигляд яких може істотно відрізнятися від вимог, пропонованих регламентами підприємств і замовниками. Керамічні плитки з різними дефектами поверхні, як геометричного характеру внаслідок короблення черепка, так і внаслідок порушень технологічного процесу глазурування й випалу (мушки, запорошення, напливи, пліщини й т.д.) або механічних ушкоджень, відбраковуються й сортуються на сучасних підприємствах в основному вручну.

Постійне підвищення інтенсивності виробництва робить безперервний людський візуальний контроль в умовах монотонності виконуваних операцій неефективним, таким, що дає велику кількість пропусків бракованої продукції. За рахунок застосування систем візуального контролю й аналізу зображень поверхні керамічних плиток є можливість успішно вирішити завдання швидкого й надійного контролю якості продукції, скорочення часу її виготовлення й оптимізації виконання технологічних операцій.

На підприємствах України відсутні вітчизняні ефективні інформаційно-вимірювальні системи контролю якості лицювальних керамічних плиток з кольоровим декором, які вирішують завдання контролю зовнішнього вигляду виробів по їхніх зображеннях, розпізнавання дефектів й оцінки колірному тону глазури й декору та повністю автоматизують процес класифікації й сортування. За рубежем фірмою SACMI Group (Італія) розробляються системи контролю якості плиток, які у вигляді інтегрованого модуля вбудовуються в автоматизовану лінію власного виробництва. Недоліками таких систем є: закритість алгоритмів обробки зображень і програмного забезпечення; неможливість адаптації алгоритмів системи контролю під технологічні особливості різних керамічних підприємств, що приводить до недостатньої ефективності контролю й розпізнавання дефектів; велика вартість впровадження. Тому організація обробки польових сигналів, що відображають якісні характеристики поверхні виробів, в тому числі керамічних плиток, є актуальним.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційну роботу виконано згідно з планами наукових досліджень ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» та «Донбаська державна машинобудівна академія», результати використані у наступних НДР: Дк-02-04 «Дослідження та розробка рішень по використанню комп'ютерних технологій в технологічній підготовці виробництва та технологічних процесах» (номер держреєстрації 0104U004410), Дк-07-08 «Дослідження та розробка рішень по автоматизації проектування та нормування операцій механічної обробки деталей типу тіла обертання» (номер держреєстрації 0108U010082), у яких автор була відповідальним виконавцем; Д-02-2005 «Підвищення інтелектуальності систем інформаційного забезпечення процесу проектування складних об'єктів» (номер держреєстрації 0105U002201).

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* даної роботи є забезпечення оперативності й достовірності контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток за рахунок створення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи й алгоритмічного забезпечення обробки зображень і розпізнавання дефектів зовнішнього вигляду виробів.

Досягнення мети забезпечується шляхом вирішення наступних *задач*:

1. Аналіз сучасного стану інформаційно-вимірювальних систем контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток, формалізація завдань при комп'ютеризованому контролі зовнішнього вигляду керамічних плиток.

2. Дослідження та розробка моделі вимірювального каналу й процедур перетворення вимірювального сигналу при контролі якості зовнішнього вигляду керамічних плиток, визначення характеристик вимірювального каналу й погрешностей перетворення сигналу.

3. Розробка методик й алгоритмічних засобів обробки зображень поверхні плиток, розпізнавання дефектів зовнішнього вигляду виробів на основі оцінок їхніх параметрів, інваріантних до положення виробів в процесі контролю.

4. Створення апаратного й алгоритмічного забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи контролю якості (ІВСКЯ) зовнішнього вигляду керамічних плиток.

5. Створення програмно-технічного комплексу інформаційно-вимірювальної системи, дослідного впровадження його компонентів на підприємстві й оцінка характеристик ІВСКЯ.

*Об'єкт дослідження:* процес контролю якості зовнішнього вигляду керамічних виробів за допомогою інформаційно-вимірювальних систем.

*Предмет дослідження:* комп'ютеризована система одержання й обробки зображень керамічних плиток, оперативний і достовірний вимірювальний контроль зовнішнього вигляду керамічних плиток.

**Методи дослідження.** У ході досліджень використовувалися наукові положення кваліметрії, теорії інформаційно-вимірювальних систем, теорії інформації, теорії ймовірностей і математичної статистики. При розробці алгоритмічного забезпечення ІВСКЯ застосовувалися різні методи обробки зображень, методи теорії розпізнавання образів і теорії прийняття рішень. При перевірці адекватності отриманих моделей і запропонованих технічних рішень використані методи планування експериментів, збору й обробки експертних оцінок. Проведені експерименти підтвердили адекватність й ефективність результатів теоретичних досліджень.

**Наукові положення:**

1. Вперше встановлений набір параметрів з експериментально обґрунтованою інформативністю, який для зображень керамічних плиток (КП) дозволив забезпечити необхідну достовірність розпізнавання дефектів зовнішнього вигляду КП.

2. Застосування в складі комп'ютеризованої ІВСКЯ зовнішнього вигляду КП експертної підсистеми з використанням методів штучного інтелекту дало можливість забезпечити необхідну оперативність й адекватність процесу сортування й відбраковування КП.

**Наукова новизна результатів** дисертаційного дослідження:

1. Удосконалено метод визначення параметричних характеристик зображень на основі їхньої інформативності при побудові класифікаторів для забезпечення достовірності результатів розпізнавання образів дефектів керамічних плиток.

2. Розроблено математичну модель вимірювального каналу комп'ютеризованої ІВСКЯ зовнішнього вигляду КП і модель виникнення погрішностей результатів контролю, які використані при розробці ефективного алгоритмічного й програмного забезпечення ІВСКЯ.

3. Вперше запропоновано інтегральний критерій якості зовнішнього вигляду КП на основі оцінки інтенсивності потоку дефектів при аналізі зображення, використання якого дозволяє підвищити ефективність процесу сортування й відбраковування КП.

4. Розроблено алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої ІВСКЯ, яке реалізує режекторну фільтрацію зображення, облік збурюючих впливів, сегментацію зображення й розпізнавання сегментів з використанням методів штучного інтелекту, що забезпечують необхідну ефективність процесу контролю.

**Практичне значення** результатів, отриманих у процесі виконання роботи, полягає в наступному:

- отримано результати класифікації параметрів зображень та математичних методів й алгоритмів одержання їхніх оцінок для завдань розпізнавання образів дефектів КП;

- створено базу даних про параметри зображень дефектів, отриманих у результаті обробки зображень КП на діючій технологічній лінії;

- розроблено методика організації експертної підсистеми на основі нейронно-нечітких мереж, яка навчається з використанням бази даних про параметри зображень дефектів КП;

- створено комп'ютеризовану ІВСКЯ зовнішнього вигляду керамічних плиток, яка дозволяє забезпечити достовірність й оперативність процесу контролю зовнішнього вигляду КП.

Розроблені в дисертаційній роботі моделі, методи й методики, результати розробки й дослідження ІВСКЯ використані: при впровадженні компонентів комп'ютеризованої ІВСКЯ зовнішнього вигляду КП на ЗАТ «Зевс Кераміка» (м. Слов'янськ); у ході виконання науково-дослідних робіт у Донбаській державній машинобудівній академії; у навчальному процесі на кафедрі електронної техніки ДонНТУ.

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці підходів, методів і методик побудови і використання комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток, яка дозволяє забезпечити достовірність й оперативність процесу контролю зовнішнього вигляду КП. Дисертація відображає результати досліджень, проведених автором. Основні наукові та практичні результати отримані автором самостійно.

**Апробація роботи.** Основні положення і результати роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на наукових конференціях: міжнародній науково-технічній конференції (МНТК) «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (м. Івано-Франківськ, 2002 р.), МНТК «Нейромережеві технології й їхнє застосування» (м. Краматорськ, 2003 і 2011 р.р.), МНТК «Автоматизированные системы управления производством» (м. Москва, 2002 р.), МНТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (м. Хмельницький, 2003 р.), всеукраїнській науково-технічній конференції (ВНТК) «Автоматизація: пошук молодих» (м. Донецьк, 2003 р.), МНТК «Інформаційні технології в освіті й управлінні» (м. Нова Каховка, 2003 і 2004 р.р.), МНТК «Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів» (м. Хмельницький, 2004 р.), міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) «Інформаційні технології в освіті, науці та техніці» (ІТОНТ, м. Черкаси, 2004 і 2012 р.р.), ВНТК «Комп'ютерне моделювання й інформаційні технології в науці, економіці та освіті» (м. Кривий Ріг, 2005 р.), МНТК «Актуальні питання математики, механіки й комп'ютерних технологій» (м. Хмельницький, 2005 р.), МНК «Комп'ютерні науки та інженерія» (м. Львів, 2010 р.), МНК «Research and Technology - Step into the Future» (м. Рига, Латвія, 2009 і 2010 р.р.), МНТК «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті» (м. Суми, 2007 і 2011 р.), ВНК «Інформаційні технології у професійній діяльності» (м. Рівне, 2011 р.), ВНТК «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації й електропривод» (м. Краматорськ, 2012 р.), МНТК «Время вызовов и возможностей: проблемы, решения, перспективы» (м. Резекне-Рига, Латвія, 2012 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 28 друкованих працях в наукових виданнях і матеріалах конференцій, з них 12 публікацій в виданнях, які входять до переліку МОН України, та 4 публікації в зарубіжних виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, переліку використаних джерел і додатків. Дисертаційний рукопис представлений на 172 сторінках основного тексту, рисунків – 42, таблиць – 4. Перелік використаних джерел нараховує 182 найменування, додатків – 11.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У першому розділі** «Аналіз процесів контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток і засобів його автоматизації» досліджено сучасний стан ринку керамічних плиток та їхніх виробників на Україні, номенклатуру плиток, вимоги до фізичних властивостей, геометричних характеристик та зовнішнього вигляду плиток, існуючі стандарти контролю якості плиток. Виконано системний аналіз процесів виготовлення керамічних плиток, формалізовано процес сортування плиток. Досліджені вимірювальні задачі при контролі якості зовнішнього вигляду керамічних плиток з використанням багатоелементних фотоприймачів і визначені напрямки їхнього вирішення.

Розглянуто стан наукових досліджень і технічних рішень по дистанційному комп'ютеризованому контролю геометричних параметрів й якості поверхні в промисловості й у керамічному виробництві. Визначено, що фотоелектричний спосіб контролю параметрів виробів і процесів є розвитою галуззю теорії й практики інформаційно-вимірювальних систем. Вивченням багатоеlementних фотоприймачів й їхніх застосувань в області технічного зору займалися: А. П'ю, Л. Росол, Б. Хорн, У. Претт, Д. Белард, Х. Браун, Ф. Куафе, А. Катис, Ю. Якушенков, Н. Тичін, А. Грідін, Ф. Прес, П. Чочіа, Д. Лебедев, А. Ізнар, В. Генкін, І. Єрош, І. Сагайда й ін. Розвитком теорії й практики обробки зображень із використанням різних методів й алгоритмів займалися: Р. Бейтс, М. Мак-Донел, Дж. Тьюкі, А. Розенфельд, Г. Шліхт, Р. Воробель, І. Журавель й ін. В області розпізнавання образів істотний внесок внесли дослідники Р. Дуда, П. Харт, Р. Дейн, І. Васильєв, А. Горелік й ін. У теперішній час на Україні працюють декілька наукових шкіл, що займаються обробкою зображень і розпізнаванням образів. Отримання й аналіз зображень для вирішення завдань автоматизації технологічних процесів у промисловості сьогодні є предметом інтенсивних наукових досліджень. Зарубіжні фірми випускають відповідні компоненти встаткування й програмного забезпечення, а також деякі комплексні рішення для технологічних ліній з випуску різноманітної продукції. Але сучасні керамічні підприємства України потребують ефективних інформаційно-вимірювальних систем контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток (КП) з кольоровим декором, які забезпечать ефективність контролю на технологічних лініях.

**У другому розділі** «Моделювання технологічних операцій контролю. Розробка структурно-функціонального ряду систем контролю» сформульовано інформаційно-вимірювальні завдання з контролю якості зовнішнього вигляду КП, розроблено модель процесу контролю якості КП із погляду кваліметрії і з використанням теоретико-множинного підходу.

Для оцінки якості КП треба використовувати три групи критеріїв: критерії придатності, критерії оптимальності й критерії конкурентоздатності. Останні визначаються в такий спосіб:

$$C: \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^g (\alpha_{ij} \in \{\alpha^D_{ij}\}) \wedge \prod_{g \in \{g_0\}} (\alpha_{gt} \geq \alpha^{kon}_{gt}), \quad (1)$$

де  $\alpha_{ij}$  – показник  $i$ -ї властивості  $j$ -го об'єкта ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, g}$ ),  $\{\alpha^D_{ij}\}$  – множина припустимих значень показника  $\alpha_{ij}$ ;  $\alpha^{kon}_{gt}$  – показник  $g$ -ї властивості  $t$ -го об'єкта, що конкурує з  $j$ -м об'єктом за споживчими властивостями і ринковою позицією. Вироби, що задовольняють умовам (1), перевершують за своєю якістю й споживчими властивостями присутні на ринку виробу й забезпечують конкурентоздатність виробленої продукції. Були досліджені 14 дефектів зовнішнього вигляду КП, наявність яких порушує умови придатності, оптимальності й конкурентоздатності. Фрагмент опису значимих дефектів наведений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Фрагмент опису значимих дефектів КП, які впливають на зовнішній вигляд виробів

Найменування дефекту	Опис дефекту
Тріщини	Широкі тріщини, явно видимі для ока
Цек	Тонкі тріщини
Наколи	Відсутність верхнього шару на фрагментах черепка через відбиття міхурів або прищів
Прищі	Сліди газових пухирців на глазури
Мушка	Темно-коричневі крапки через залізисті включення в напівфабрикаті
Сухість	Здуття й відшаровування глазури
Запорошення	Кольорові плями й нерівності
Пліщини	Відсутність глазури на фрагментах черепка

Велика кількість характеристик, які використовуються при визначенні якості зовнішнього вигляду КП, а також застарілість існуючих стандартів, призвели до необхідності експертної оцінки ступеня важливості дефектів при сортуванні об'єктів контролю за їхнім зовнішнім виглядом. У якості експертів залучалися працівники ВТК керамічних підприємств та фахівці відділів маркетингу. Результати розрахунку коефіцієнтів відносної важливості дефектів глазурованого шару КП, які наведені на рисунку 1, дозволили визначити найбільш істотні для зовнішнього вигляду КП дефекти.

*Ступінь важливості*

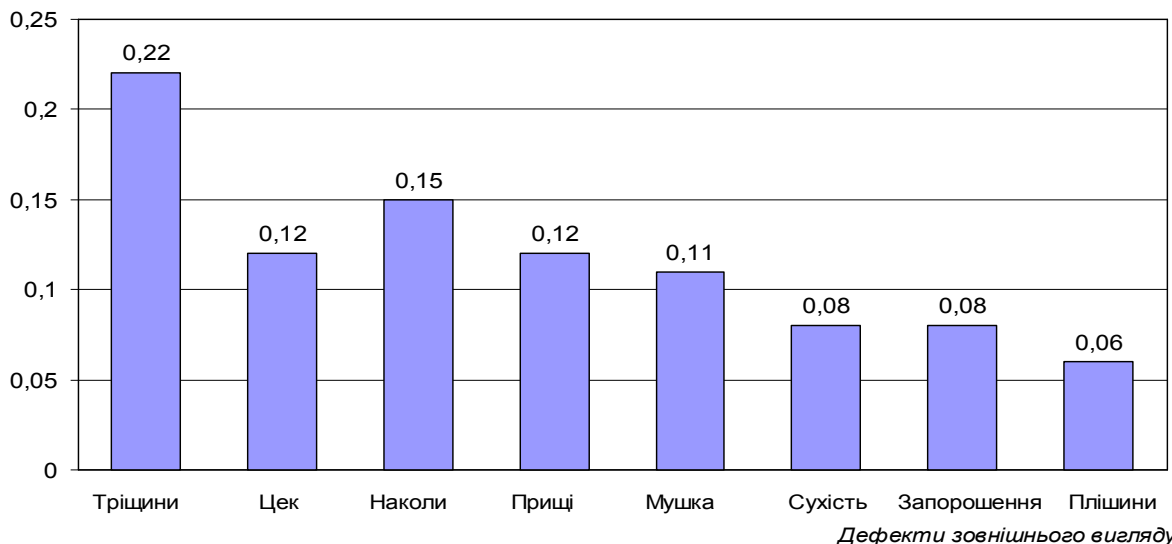


Рисунок 1 – Результати експертного оцінювання ступеня важливості дефектів при сортуванні КП за їхнім зовнішнім виглядом

За результатами аналізу й групування найважливіших дефектів, було об'єднано в один подібний за зовнішнім виглядом дефект тріщини й цек, а також в один дефект – наколи й прищі.



У даному розділі також розроблено структурний ряд систем контролю зовнішнього вигляду, який задовольняє різним потребам метрології й виробництва.

У третьому розділі «Розробка моделей вимірювального каналу й виникнення погрішностей результатів контролю» виконане обґрунтування вибору фотоелектричного методу контролю зовнішнього вигляду КП. Розроблено структуру й операторну модель перетворень вимірювального сигналу. Оператори перетворення вимірювального сигналу й залежності, що описують вплив збурюючих факторів на вимірювальний сигнал, розкрито за допомогою відповідних формул, з урахуванням фізичних основ процесів, що протікають на кожному етапі перетворення сигналу. Визначено й оцінено складові погрішності фотоелектричного контролю зовнішнього вигляду КП, запропоновано заходи щодо їхньої компенсації. На рисунку 2 наведені етапи перетворення сигналу, збурюючі впливи і види можливих погрішностей при вимірювальному контролі зовнішнього вигляду КП. За рахунок запропонованих методів компенсації практично усунений вплив спотворень вимірювального сигналу на результат контролю. У роботі, в рамках підходу до обробки зображень плиток і розпізнавання їхніх дефектів, запропоновано застосування режекторної фільтрації до зображення КП з декором. Гранульованість зображення декору при цьому зменшується, що дозволяє покращити результати виділення контурів на зображенні.

Для цього використовувався вузькосмуговий режекторний фільтр Батерворта з наступною передатною функцією:

$$H(u, v) = \left( 1 + \left[ \frac{D_0^2}{D_1(u, v)D_2(u, v)} \right] \right)^{-n}, \quad (2)$$

де  $D(u, v)$  – відстань, вимірювана від центра частотного прямокутника,

$$D_1(u, v) = \sqrt{(u - c_u - u_0)^2 + (v - c_v - v_0)^2}, \quad D_2(u, v) = \sqrt{(u - c_u - u_0)^2 + (v - c_v - v_0)^2},$$

де  $D_0$  – радіус фільтра із центром у точках  $(u_0, v_0)$  і, у силу симетрії, в  $(-u_0, -v_0)$ , при цьому  $(c_u, c_v)$  – координати центра частотного прямокутника.

Ухвалення рішення про сорт керамічних плиток у комп'ютеризованій інформаційно-вимірювальній системі досліджено з використанням методу максимальної правдоподібності. Сукупність вимірюваних координат  $\{d_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , спостережуваної векторної функції  $ПВФ$  для об'єкта контролю належить до класу  $X_b$ , для якого функція правдоподібності  $ФП$  максимальна, тобто рішення  $\{d_i\} \Rightarrow X_b$  приймається в тому випадку, якщо виконується система нерівностей:  $ФП_b \geq ФП_a$ ,  $a = 1, 2, \dots, b-1, b+1, \dots, m$ .

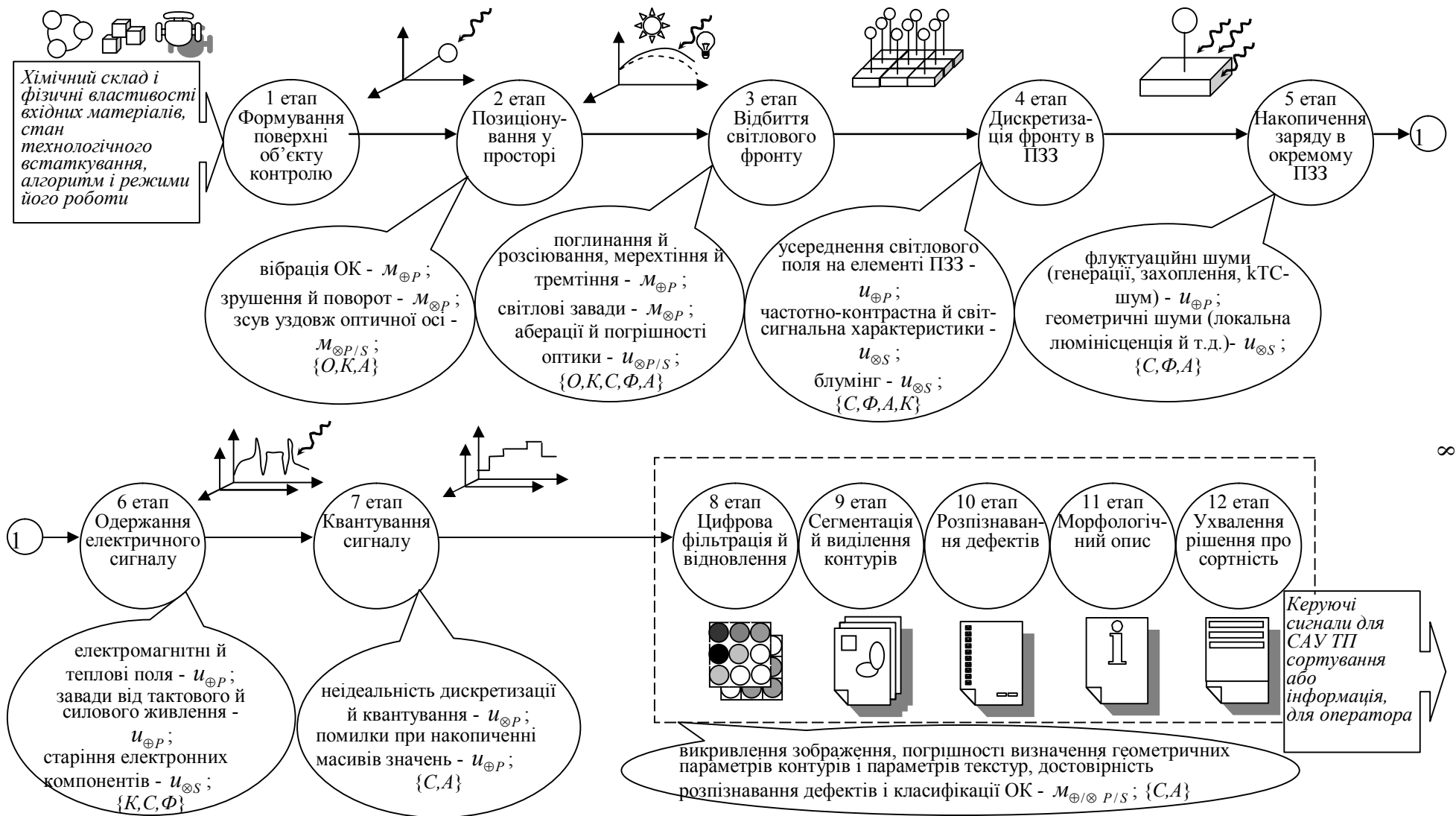


Рисунок 2 – Етапи перетворення сигналу, збурюючі впливи, методи їхньої компенсації і види можливих погрішностей при вимірювальному контролі якості керамічних плиток. Види погрішностей:  $m$  – методичні,  $i$  – інструментальні;  $\oplus$  – адитивні;  $\otimes$  – мультиплікативні;  $p$  – випадкові;  $s$  – систематичні. Методи компенсацій:  $O$  – організаційні;  $K$  – конструкційні;  $C$  – статистичної обробки;  $\Phi$  – фільтрації;  $A$  – алгоритмічні (введення поправочних залежностей і т.д.)

Тоді ймовірність помилкової класифікації об'єкта контролю, після прийняття ряду умов, дорівнює:

$$\gamma = 1 - \prod_{\substack{a=1 \\ a \neq b}}^m p_a = 1 - \prod_{\substack{a=1 \\ a \neq b}}^m \Phi_0 \left\{ \sqrt{n} \left[ \frac{ПВ\Phi_{\max} |b-a|}{m} - 2(r - x^{(b)}) \right] / 2\sigma_v \right\}, \quad (3)$$

де  $\Phi_0$  – інтегральна функція ймовірності нормального стандартного розподілу,  $r$  – значення координати,  $\sigma_v$  – середньоквадратичне відхилення її виміру,  $x^{(b)}$  – її еталонне значення для  $b$ -го класу. На підставі (3) проведена теоретична оцінка можливих значень для  $\gamma$ . На рисунку 3 наведені залежності ймовірності помилкової класифікації для різних значень кількості класів  $m$  (розпізнаваних дефектів) і кількості параметрів  $n$  функції, що описує зображення дефектів.

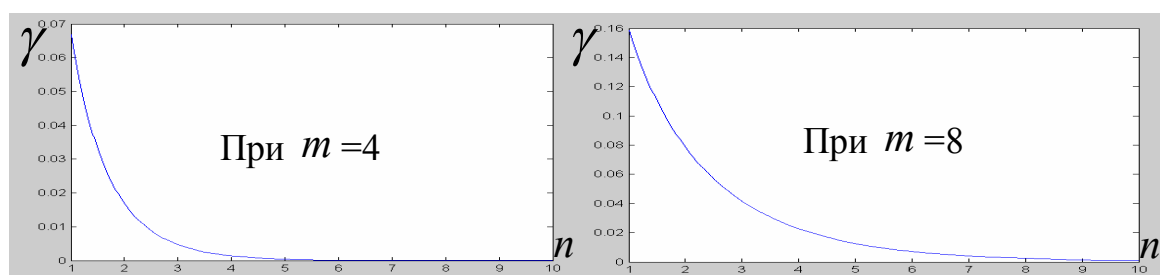


Рисунок 3 – Залежність імовірності помилкової класифікації  $\gamma$  для різної кількості  $m$  розпізнаваних дефектів і кількості параметрів

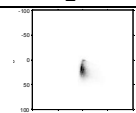
За результатами теоретичної оцінки визначено, що для  $\gamma=0,01-0,02$  при розпізнаванні 8-ми дефектів необхідно використати не менш ніж 4-5 параметрів, що описують їхнє зображення. З урахуванням можливих збурюючих впливів на вимірювальний сигнал необхідно використати не менш ніж 6-7 параметрів для розпізнавання дефектів.

**У четвертому розділі** «Організація розпізнавання образів дефектів і прийняття рішень за результатами контролю» розроблені моделі й алгоритми обробки зображень КП для виконання їхньої сегментації й оцінки параметрів сегментів. Виконано дослідження методів одержання параметрів зображення. Розроблено методики виділення контурів і сегментування зображень дефектів КП. Зроблено порівняльне дослідження методів одержання текстурних ознак сегментів, методів оцінки й опису форми сегментів зображення, методів оцінки колірного тону сегментів зображення, що відповідають різним дефектам. Розроблено методику вибору параметрів зображень дефектів КП на підставі оцінок їхньої інформативності.

Для реалізації запропонованої методики була сформована база прецедентів для навчання розроблювальної експертної підсистеми, у яку ввійшли числові оцінки відібраних на попередньому етапі параметрів зображень, що представляють типовий зовнішній вигляд дефектів, а також експертні судження

про клас дефекту. Фрагмент бази наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Фрагмент бази прецедентів для навчання розроблювальної експертної підсистеми ІВСКЯ

Дефект	Параметри тривимірної гістограми у колірному просторі Lab					Параметри Тамура			Параметри матриці суміжності				Геометричні параметри	
	Гістограма	Xc	Yc	Entropy	Stand. dev.	Coarseness	Contrast	Direction	Contrast co-occur.	Correlation	Energy	Homogeneity	Excentricity	Extent
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Мушка		11,05	1,361	0,372	51,93	44,3	62,3	0	7,71	0,092	0,02	0,43	0,06	0,68

Тривимірні гістограми (стовбець 2) є двовимірним розподілом наявності на зображенні дефекту пікселів відповідного тону в колірному просторі *Lab*. Осі *a* та *b* є координатами колірних тонів пікселя, а інтенсивність сірого показує кількість пікселів відповідного тону. Стовбці 3-4 представляють координати центра ваги отриманого зображення гістограми, а стовбці 5-6 – ентропію та середньоквадратичне відхилення для цього зображення відповідно.

Інформативність параметрів зображень оцінювалася з точки зору інформаційного виграшу від їхнього використання при класифікації, виходячи з наступних міркувань. Прийmemo, що  $\varphi: X \rightarrow \{0,1\}$  – предикат на основі параметрів зображення, визначений на множині об'єктів (зображень)  $X$ . Тоді предикат  $\varphi$  виділяє  $p$  об'єктів з  $P$ , що належать класу  $c$  (плитки з дефектом), і  $n$  об'єктів з  $N$ , що не належать класу  $c$ . Ентропія всієї вибірки, після одержання інформації про її класифікацію за допомогою  $\varphi$ , дорівнює:

$$\hat{H}_{\varphi}(P, N, p, n) = \frac{p+n}{P+N} \hat{H}(p, n) + \frac{P+N-p-n}{P+N} \hat{H}(P-p, N-n). \quad (4)$$

У підсумку зменшення ентропії становить:

$$IGain_c(\varphi, X) = \hat{H}(P, N) - \hat{H}_{\varphi}(P, N, n, p), \quad (5)$$

і це значення інформаційного виграшу є оцінкою інформативності предиката  $\varphi$ .

На рисунку 4 наведені результати оцінки інформативності обчислених параметрів у базі прецедентів зображень з присутніми на них дефектами, для семи найбільш інформативних параметрів (інші шість параметрів мають інформативність істотно нижче 0,05). На цьому рисунку ряд 1 – стандартне відхилення гістограми колірної моделі (Stand. dev.); ряди 2-3 – показник енергії (Energy) та однорідності текстури (Homogeneity) на основі матриць суміжності; ряди 4-6 – параметри Тамура (Coarseness, Contrast, Direction); ряд 7 – ексцентриситет еліпса, що оточує область дефекту (Excentricity).

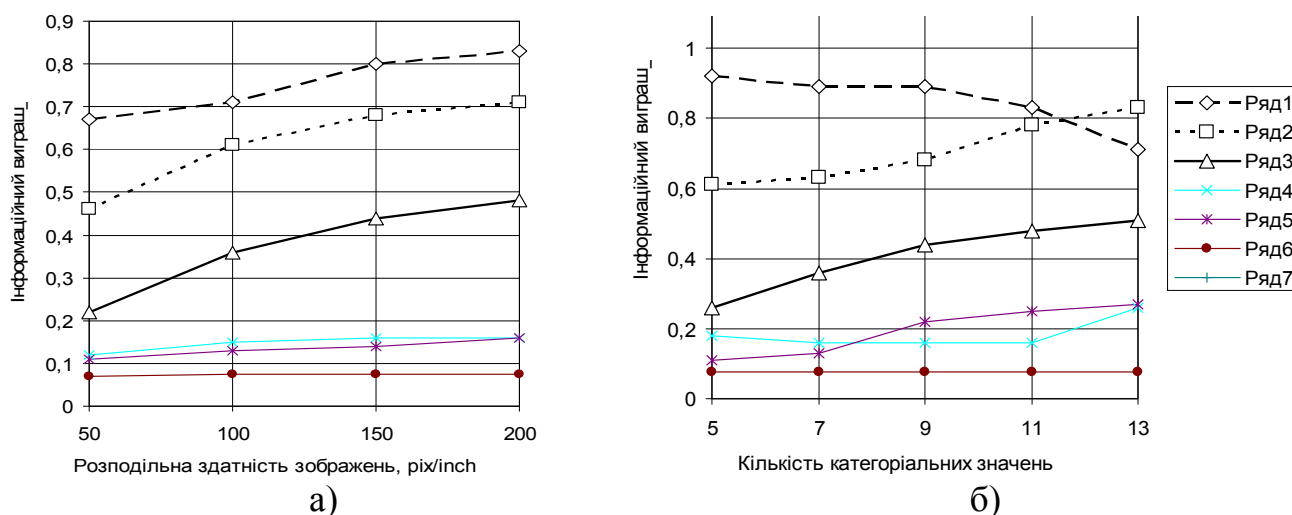


Рисунок 4 – Значення інформативності параметрів зображень дефектів: а) залежно від розподільної здатності зображення; б) залежно від кількості значень категоріальної змінної

Розроблено експертну підсистему (ЕП) ІВСКЯ для сортування КП за їхнім зовнішнім виглядом. У якості основи для ЕП була прийнята нейронно-нечітка мережа (ННМ), що за функціональністю забезпечує механізм нечіткого висновку, однак не потребує від експертів формулювання правил бази знань та визначення функцій приналежності термів і може бути навчена на наборі прецедентів. Оцінки визначених вище інформативних параметрів сегменту зображення є вхідними сигналами для ЕП. Таким чином, на вхід класифікатора надходить сім вхідних сигналів, і вони використовуються як значення вхідних змінних для ННМ, кожна з яких служить для розпізнавання одного із шести істотних для зовнішнього вигляду КП дефектів. Процес нечіткого висновку в ННМ включає виконання наступних процедур: фазифікацію – приведення до нечіткості; агрегування – обчислення ступеня істинності умов нечітких правил; активацію – визначення висновків нечітких правил; дефазифікацію – знаходження чіткого значення вихідної змінної. В останньому модулі ЕП визначається максимальний вихідний сигнал  $y_j^*$  від відповідної  $j$ -ї ННМ, що дозволяє ухвалити рішення  $c$  щодо розпізнаного  $j$ -го дефекту на зображенні, у такий спосіб:  $c = \arg \max_j y_j^*$ .

У п'ятому розділі «Результати експериментальних досліджень компонентів інформаційно-виміральної системи контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток» наведено результати апаратної, алгоритмічної й програмної реалізації компонентів ІВСКЯ на основі запропонованих підходів і моделей, інтеграції системи контролю в систему автоматизації процесу сортування й в АСУ керамічним виробництвом. Загальну структурну схему основного модулю комп'ютеризованої ІВСКЯ розглянуто на рисунку 5. До його складу входить персональний комп'ютер (ПК) і відеокамера на основі матриці пристроїв з зарядовим зв'язком (ПЗЗ), яка має виділену IP-адресу та встановлена над конвеєром. Вона передає відеопотік у форматі MPEG за допомогою протоколу Ethernet на мережну карту ПК. Для забезпечення цифрового введення (від

датчиків) і виведення (для приводів пристроїв) сигналів від ПК використано блок m-DAQ (підсистема збору й видачі даних), який програмується та обмінюється даними з ПК за допомогою протоколу USB.



Рисунок 5 – Загальна структурна схема основного модулю комп'ютеризованої ІВСКЯ

Проектування алгоритмічного забезпечення ІВСКЯ виконано з використанням діаграмних методик мови моделювання UML. Для розробки головного модуля програмного комплексу й модулів-контролерів, що управляють процесами одержання зображень від відеокамери, обробки й сегментації зображень, оцінки параметрів зображень і розпізнавання образів дефектів, класифікації (сортування) плиток, був використаний засіб розробки Visual Studio 2010 й OpenSource-бібліотека функцій OpenCV з використанням оболонки Emgu.

З використанням розробленої методики було експериментально отримано оцінки достовірності результатів розпізнавання (класифікації) образів дефектів за допомогою розробленої ЕП. Вірогідність розпізнавання склала 0,95-0,97 із середньоквадратичним відхиленням 0,01-0,02 в залежності від виду дефекту.

Автором запропоновано використати для сортування плиток емпіричну функцію інтенсивності потоку дефектів для кожної плитки. Функція інтенсивності потоку дефектів повинна обчислюватися за наступною формулою:

$$\Omega = \sum_{j=1}^M (1 + \beta_j) \frac{S_j^{def}}{S_j^{rect}} \frac{S_j^{def}}{S_j^{tile}} \omega_j \gamma_j, \quad (6)$$

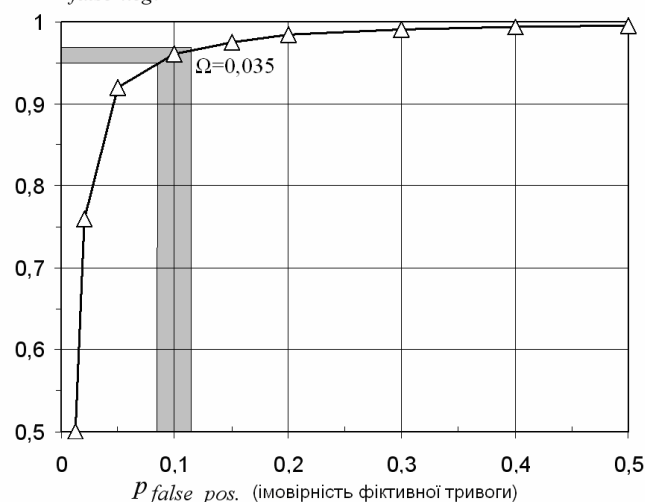
де  $\beta_j$  – коефіцієнт відхилення колірного тону дефекту від загального колірного тону плитки;  $S_j^{def}$  – кількість пікселів, що входять до області дефекту;  $S_j^{rect}$  – площа прямокутника, що описує область дефекту;  $S_j^{tile}$  – площа контрольованої плитки;  $\omega_j$  – ступінь важливості дефекту (за результатами експертного оцінювання) для сортування плитки;  $\gamma_j$  – точність класифікації

дефекту (за результатами експериментального оцінювання);  $M$  – кількість розпізнаних на поверхні плиткі дефектів.

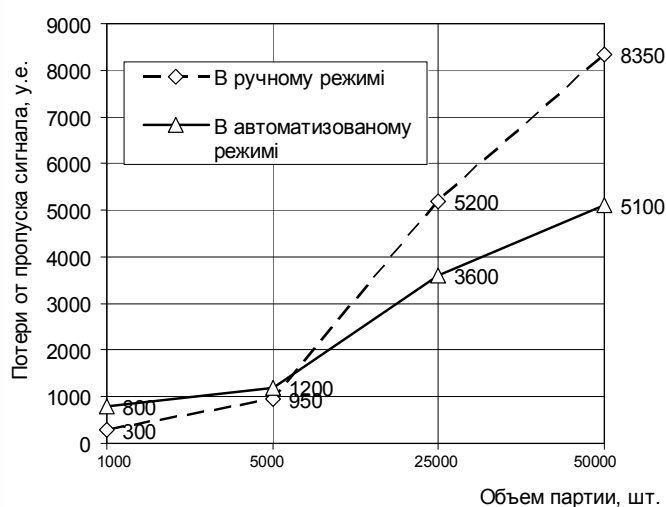
Для оцінки якості сортування плиток за допомогою розробленої ІВСКЯ був використаний метод ROC-кривої (receiver operating characteristic – ROC-curve). Ця крива відображає співвідношення рівня вірних і помилкових класифікацій, тобто  $P_{precision} = 1 - P_{false\ neg.}$  (де  $P_{false\ neg.}$  – імовірність пропуску сигналу) і  $P_{false\ pos.}$  (імовірності фіктивної тривоги, або помилки 1-го роду).

На рисунку 6,а наведена ROC-крива для запропонованого класифікатора плиткі, заснованого на групі ННМ і виконуючого відбраковування за значенням функції  $\Omega$ . Побудова кривої виконувалася шляхом варіювання значення функції  $\Omega$  як параметра класифікатора й фіксації значень, що отримувалися.

( $1 - P_{false\ neg.}$ )



а)



б)

Рисунок 6 – Результати експериментів: а) співвідношення рівня вірних і помилкових класифікацій (ROC-крива) для запропонованого класифікатора КП при різних значеннях  $\Omega$ ; б) залежність втрат від помилок 2-го роду при сортуванні КП у ручному й автоматизованому режимах для партій плиток різного обсягу

ROC-крива на рисунку 6,а показує достатню ефективність розробленого класифікатора й ІВСКЯ у цілому. Така крива дозволяє обрати необхідний для конкретної виробничої ситуації граничний рівень значення  $\Omega$  для відбраковування виробів. На рисунку 6,а вказана смуга значень  $\Omega$ , використання якої під час сортування дозволяє отримати значення ймовірностей помилок 1-го й 2-го роду, що задовольняють вимогам виробництва до ефективності роботи ІВСКЯ.

З використанням методу експертного оцінювання отримано відомості про економічну ефективність при застосуванні ІВСКЯ для автоматизації процесу контролю й сортування КП. Ці дані, у вигляді залежності втрат від помилок 2-го роду при сортуванні в ручному й автоматизованому режимах для партій плиток різного обсягу, представлені на рисунку 6,б. Отримані результати доводять, що для партій КП середнього та великого обсягу втрати виробництва на етапі сортування скорочуються у 1,4-1,6 рази за рахунок використання ІВСКЯ.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання забезпечення оперативності й достовірності контролю якості керамічних плиток за рахунок створення й впровадження комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи та алгоритмічного забезпечення обробки зображень і розпізнавання дефектів зовнішнього вигляду виробів.

1. Обґрунтовано актуальність розробки комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи для контролю якості (ІВСКЯ) зовнішнього вигляду керамічних плиток (КП) для здійснення ефективного контролю параметрів, сортування й відбраковування КП. Формалізовано дані про дефекти зовнішнього вигляду, сформульовано завдання виміру й розпізнавання образів дефектів.

2. На основі отриманих залежностей у складі розробленої моделі вимірювального каналу ІВСКЯ проаналізовано впливи, що збурюють сигнал, виконано оцінку їхнього внеску в погрішність вимірювального сигналу. За рахунок запропонованих методів компенсацій практично усунений вплив спотворень вимірювального сигналу на результат контролю при обробці зображень КП.

3. Експериментально обґрунтовано найбільш інформативні параметри кольорного тону, текстури й контурів для зображень дефектів КП, які використано при побудові класифікаторів для забезпечення достовірності розпізнавання дефектів. Необхідна розмірність вектора характеристик зображення визначена з використанням методу найбільшої правдоподібності. Організовано базу даних про параметри зображень дефектів у кількості 300 прецедентів, яка охоплює практично весь перелік значимих дефектів КП, що отримані у результаті обробки зображень КП на діючій технологічній лінії.

4. Запропоновано методика обробки зображень КП і алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої ІВСКЯ, яке реалізує режекторну фільтрацію зображення для зменшення впливу гранульованості декору КП, сегментацію зображення й розпізнавання сегментів з використанням методів штучного інтелекту, що забезпечує необхідну оперативність і достовірність контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток.

5. Розроблено експертну підсистему з використанням методів штучного інтелекту для розпізнавання образів дефектів КП. Експертна підсистема навчена з використанням бази даних про параметри зображень дефектів КП. Вірогідність розпізнавання склала 0,95-0,97 із середньоквадратичним відхиленням 0,01-0,02 в залежності від виду дефекту.

6. Для сортування плиток за результатами розпізнавання набору дефектів запропонований інтегральний критерій якості зовнішнього вигляду КП на основі оцінки інтенсивності потоку дефектів при аналізі зображення. У розглянутих в ході експериментів технологічних умовах, у діапазоні 0,08-0,12 імовірності фіктивної тривоги, імовірність пропуску сигналу в 0,03-0,05 досягається при значеннях запропонованого критерію 0,03-0,035.

7. Створено комп'ютеризовану ІВСКЯ зовнішнього вигляду КП, яка за рахунок розвинутого алгоритмічного забезпечення обробки зображень і використання експертної підсистеми для класифікації КП дозволяє забезпечити вірогідність процесу контролю зовнішнього вигляду КП не менш ніж 0,95 в



реальному масштабі часу, знизити витрати виробництва, забезпечити швидку адаптацію системи при зміні технологічного процесу або номенклатури КП.

8. Розроблені в дисертаційній роботі моделі, методи й методики, результати розробки й створення ІВСКЯ використані при впровадженні компонентів комп'ютеризованої ІВСКЯ зовнішнього вигляду КП на ЗАТ «Зевс Кераміка» (м. Слов'янськ). Експертне оцінювання показало, що на середніх і великих партіях КП річний економічний ефект від впровадження системи становить до 3% від вартості продукції. Також результати роботи використані у ході виконання держбюджетних науково-дослідних робіт у Донбаській державній машинобудівній академії, у навчальному процесі на кафедрі електронної техніки ДонНТУ.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

1. Гетьман И.А. Задачи контроля качества изделий тонкой керамики и пути их решения / И.А. Гетьман // Перспективні задачі інженерної науки: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: МАІ. – 2002. – С. 106-109.

2. Гетьман И.А. Вопросы комплексной автоматизации технологических процессов формования керамических изделий на основе информационно-измерительных систем / П.И. Сагайда, И.А. Гетьман // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА. – 2002. – С. 242-248.

3. Гетьман И.А. Інформаційні технології в вимірювально-керуючих системах контролю параметрів і сортування керамічних виробів / И.А. Гетьман // Вестник ХГТУ. – 2003. – №2(18). – С. 368-371.

4. Гетьман И.А. Модель оценки качества керамического изделия при помощи фотоэлектрической информационно-измерительной системы / И.А. Гетьман, А.А. Зори // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. – Вип. 58. – Донецьк: ДонНТУ. – 2003. – С. 42-47.

5. Гетьман И.А. Измерительный канал информационно-измерительной системы контроля качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Міжнародний науково-технічний журнал. – Хмельницький. – 2003. – №1(21). – С. 101-103.

6. Гетьман И.А. Алгоритмическое обеспечение подсистемы распознавания дефектов при автоматизированном контроле качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. – вип. 74. – Донецьк: ДонНТУ. – 2004. – С. 386-390.

7. Гетьман И.А. Разработка структурно-функционального ряда информационно-измерительных систем контроля качества для автоматизированного визуального контроля керамических изделий / И.А. Гетьман // Вестник Технологічного університету Поділля (ХДУ). – Частина 1. – Том 1, Технічні науки. – Хмельницький: ХДУ. – 2004. – С. 150-154.

8. Гетьман И.А. Исследование погрешностей измерительного канала фотоэлектрической информационно-измерительной системы контроля качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Вісник Донбаської державної

машинобудівної академії. – №2. – Краматорськ, 2005. – С. 132-137.

9. Гетьман И.А. Методика проектирования программного обеспечения фотоэлектрической информационно-измерительной системы контроля качества керамических / И.А. Гетьман // Вестник Технологічного університету Поділля (ХДУ). – №6, Том 1, Технічні науки. – Хмельницький: ТУП. – 2005. – С. 114-120.

10. Гетьман И.А. Оценка погрешностей при обработке изображений и принятии решения керамических плиток о сорте в информационно-измерительной системе / И.А. Гетьман // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – вип. 107. – Донецьк: ДонНТУ. – 2006. – С. 181-186.

11. Гетьман И.А. Методы измерительного контроля внешнего вида керамических плиток с учетом эффекта грануляции декора и вариации цветового оттенка / И.А. Гетьман // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – вип. (19) 171. – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – С. 104-110.

12. Гетьман И.А. Методика выбора параметров изображений дефектов и организация экспертной подсистемы информационно-измерительной системы контроля внешнего вида керамических изделий / И.А. Гетьман // Науковий вісник ДДМА. – Краматорськ: ДДМА. – №1(9Е). – 2012. – С. 46-51.

13. Гетьман И.А. Автоматизация процессов сортировки изделий тонкой керамики на основе фотоэлектрической информационно измерительной системы / И.А. Гетьман // Автоматизация в промышленности. – Москва: – № 8. – 2003. – С. 45-47.

14. Гетьман И.А. Автоматизированный контроль качества керамических изделий при помощи фотоэлектрической информационно-измерительной системы / И.А. Гетьман // Неруйнівний контроль та технічна діагностика: Тези доповідей на міжнародній науково-технічній конференції. – Івано-Франківськ. – 2002. – С. 104-106.

15. Гетьман И.А. Методы и критерии анализа измерения керамических изделий в подсистеме распознавания дефектов при автоматизированном контроле качества / И.А. Гетьман // Інформаційні технології в освіті та науці. Матеріали 4 конференції ІТОНТ. – Черкаси. ЧН., – 2004. – С. 138-140.

16. Гетьман И.А. Математические модели и алгоритмическое обеспечение фотоэлектрической информационно-измерительной системы контроля качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Информационные технологи: наука, техника, технология, образования, науки. Материалы XII международной научно-практической конференции. – Харьков. ХНТУ. – 2004. – С. 158.

17. Гетьман И.А. Моделирование измерительного канала системы контроля качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Обчислювальна та вимірювальна техніка: Тези доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції “Технологія-2005”. – Северодонецьк: СТІ СХУ ім. Даля. – 2005. – С. 10.

18. Гетьман И.А. Интеграция средств искусственного интеллекта в информационно-измерительную систему контроля качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в науці, економіці та освіті. Матеріали 6-й Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Кривий Ріг: КЕІ КНЕУ. – 2005. – С. 42-43.

19. Гетьман И.А. Совершенствование методов и алгоритмов обработки

изображений и принятия решений в ходе контроля внешнего вида керамических изделий / И.А. Гетьман // Интеллектуальные системы принятия решений и прикладные аспекты информационных технологий. Материалы Международной научной конференции ISDMIT. – Евпатория: ХМИ. – 2005. – С.65-69.

20. Гетьман И.А. Информационно-измерительная система контроля внешнего вида керамических плиток / И.А. Гетьман // Тези доповідей Першої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті». – Суми: СумДУ. – 2007. – С. 19-20.

21. Getman I.A. Measuring control of ceramic tiles at processing of their images and decision-making about a sort in the informatively-measuring system / I.A. Getman // Research and Technology - Step into the Future. – Volume 4. – No 4. – TSI, Riga. – 2009. – P. 20-21.

22. Гетьман И.А. Разработка модели оценки качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Материалы международной научной конференции «Современные научные достижения», Прага. – 2010. – С. – 22-26.

23. Гетьман И.А. Эффективная фильтрация и улучшение изображений керамических плиток в ходе измерительного контроля их внешнего вида / И.А. Гетьман // Research and Technology - Step into the Future. – Volume 5. – No 3. – TSI, Riga, 2010. – P. 33-34.

24. Гетьман И.А. Оценка эффективности сортировки и комплектации по цветовому тону при автоматизации измерительного контроля керамических плиток / И.А. Гетьман // Research and Technology - Step into the Future. – Volume 7. – No 4. – TSI, Riga. – 2010. – P. 44-46.

25. Гетьман И.А. Использование средств MatLAB для анализа изображений керамических облицовочных плиток / И.А. Гетьман // Матеріали V Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології у професійній діяльності». – Рівне: РВВ РДГУ. – 2011. – С.73-75.

26. Гетьман И.А. Исследование информативности параметров изображения дефектов глазурованного слоя керамических плиток для автоматизации их распознавания / И.А. Гетьман // «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті»: тези доповідей 3 міжнародної науково-технічної конференції, Суми: Вид-во СумДУ. – 2011. – С.33-34.

27. Гетьман И.А. Создание экспертной подсистемы информационно-измерительной системы контроля внешнего вида керамических изделий / И.А. Гетьман // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції ІТОНТ. – Том 1. – Черкаси. – 2012. – С.60-61.

28. Гетьман И.А. Методика проектирования программного обеспечения фотоэлектрической информационно-измерительной системы контроля качества керамических изделий / И.А. Гетьман // Сборник научных трудов. По материалам конференции «Время вызовов и возможностей: проблемы, решения, перспективы». – Резекне, Рига: БМА. – 2012. – С. 148-151.

У роботах, що написані у співавторстві, здобувачеві належить: [2] - аналіз технологічного процесу виготовлення керамічних виробів і методика інтеграції інформаційно-вимірювальних систем в АСУ ТП керамічного виробництва; [3] - кваліметрична модель оцінки якості керамічного виробу, схема оцінки якості за візуально оцінюваними показниками і модель генерації й розпізнавання зображень на основі теоретико-множинного підходу.

## АНОТАЦІЯ

**Гетьман І.А. Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з спеціальності 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти». Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, 2014.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання забезпечення оперативності й достовірності контролю якості зовнішнього вигляду керамічних плиток (КП). Формалізовано дані про дефекти зовнішнього вигляду, сформульовано завдання виміру й розпізнавання образів дефектів. Розроблено модель вимірювального каналу й модель виникнення погрішностей результатів контролю. Запропоновано базу даних про параметри зображень дефектів КП, отриманих у результаті обробки зображень КП на діючій технологічній лінії. Удосконалено метод визначення параметричних характеристик зображень на основі їхньої інформативності при побудові класифікаторів, експериментально обґрунтовано найбільш інформативні параметри зображень КП. Розроблено методику організації експертної підсистеми з використанням методів штучного інтелекту для розпізнавання образів дефектів КП. Для сортування плиток за результатами розпізнавання набору дефектів запропоновано інтегральний критерій якості зовнішнього вигляду КП. Розроблено алгоритмічне забезпечення й створена комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю якості зовнішнього вигляду КП, яка дозволила забезпечити достовірність й оперативність процесу контролю, знизити втрати від неадекватного сортування виробів.

Ключові слова: керамічна плитка, дефект глазурованої поверхні, класифікатор, контроль зовнішнього вигляду, критерій якості, база даних, обробка зображень, комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система.

## АННОТАЦИЯ

**Гетьман И.А. Компьютеризированная информационно-измерительная система контроля качества внешнего вида керамических плиток.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Компьютерные системы и компоненты». Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, 2014.

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача обеспечения оперативности и достоверности контроля качества керамических плиток (КП) за счет создания и внедрения компьютеризированной информационно-измерительной системы и алгоритмического обеспечения обработки изображений и распознавания дефектов внешнего вида изделий.

В работе получены следующие научные и практические результаты.

Формализованы данные о дефектах внешнего вида, сформулированы задачи измерения и распознавания образов дефектов. Разработаны модель

измерительного канала и модель возникновения погрешностей результатов контроля, вносимых на различных этапах преобразования измерительного сигнала. На основе полученных зависимостей проанализированы возмущающие воздействия, выполнена оценка их вклада в погрешность измерительного сигнала, определены мероприятия по снижению влияния возмущающих воздействий на достоверность контроля при обработке изображений КП.

Усовершенствован метод определения параметрических характеристик изображений на основе их информативности при построении классификаторов для обеспечения достоверности распознавания образов дефектов. Процесс принятия решения о сорте керамических плиток в компьютеризированной информационно-измерительной системе исследован с использованием метода максимального правдоподобия. Теоретически обосновано требуемое количество параметров оцениваемого сегмента изображения с дефектом для распознавания дефектов с высоким уровнем достоверности.

Разработана методика выделения контуров и сегментирования изображений дефектов КП. Выполнено сравнительное исследование методов получения текстурных признаков сегментов, методов оценки и описания формы сегментов изображения, методов оценки цветового тона сегментов изображения, которые соответствуют различным дефектам КП. Разработана методика выбора параметров изображений дефектов КП на основании оценок их информативности для решения задачи распознавания. Организована база данных о параметрах изображений дефектов, полученных в результате обработки изображений КП на действующей технологической линии.

Предложена методика обработки изображений КП и алгоритмическое обеспечение компьютеризированной информационно-измерительной системы контроля качества внешнего вида КП, которое реализует режекторную фильтрацию изображения для уменьшения влияния гранулированности декора КП, сегментацию изображения и распознавание сегментов с использованием методов искусственного интеллекта. Предложенная методика обеспечивает необходимую оперативность и достоверность контроля качества внешнего вида керамических плиток.

Разработана экспертная подсистема с использованием методов искусственного интеллекта для распознавания образов дефектов КП. Экспертная подсистема обучена с использованием базы данных о параметрах изображений дефектов КП. Для сортировки плиток по результатам распознавания набора дефектов предложен интегральный критерий качества внешнего вида КП на основе оценки интенсивности потока дефектов при анализе изображения. В рассмотренных в ходе экспериментов технологических условиях, в диапазоне 0,08-0,12 вероятности ложной тревоги достигается вероятность пропуска сигнала в диапазоне 0,03-0,05, что соответствует требованиям производителей КП к автоматизированному классификатору КП по их внешнему виду.

Создана компьютеризированная информационно-измерительная система контроля качества внешнего вида КП, которая, за счет развитого

алгоритмического обеспечения обработки изображений и использования экспертной подсистемы на основе нейронно-нечетких сетей для классификации КП, позволяет обеспечить достоверность процесса контроля внешнего вида КП не менее чем 0,95 в реальном масштабе времени, снизить потери от неадекватной сортировки изделий, обеспечить быструю переналадку системы при изменении технологического процесса или номенклатуры КП.

Ключевые слова: керамическая плитка, дефект глазурированной поверхности, классификатор, контроль внешнего вида, критерий качества, база данных, обработка изображений компьютеризированная информационно-измерительная система.

## ABSTRACT

**Hetman I.A. Computer-aided information-measuring system of monitoring the quality of the ceramic tiles appearance.** – Manuscript.

The dissertation for scientific degree of the technical sciences candidate, speciality 05.13.05 - «Computer systems and components». Donetsk national technical university, Donetsk, 2014.

In the thesis solved relevant scientific and technical task of efficiency and reliability monitoring of the appearance quality of ceramic tiles (CT), also formalized data about defects in appearance, the problem of measurement and recognition of defects. In the thesis developed a model of the measuring channel and model of the emergence of errors in the control, organized database on the parameters of the images of defects CT, resulting from processing of images CT at the technological line. The improved method of definition of parametric characteristics of images on the basis of their information when building classifiers, experimentally proved the most informative parameters of the images CT. Developed a method of organizing expert subsystem using artificial intelligence methods for pattern recognition defects CT. To sort the tiles on the results of defects recognition set of proposed integral criterion of the appearance quality of the CT. Developed algorithmic software and computerized information measuring system of quality control the appearance of the CT, which enabled to ensure the reliability and efficiency of process control, reduce losses from inadequate sort of products.

Keywords: ceramic tiles, glazed surface defect, classifier, appearance control, quality criteria, database, image processing computer-aided information-measuring system.