


Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”



ЄМЕЛЬЯНОВ ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 004.932+620.18

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ
ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВІВ В МЕТАЛОГРАФІЧНОМУ АНАЛІЗІ**

05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаському державному технічному університеті, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Гонтовий Сергій Вікторович,
Донбаський державний технічний університет,
завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лисенко Едуард Вікторович
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
професор кафедри інформаційних управляючих систем.

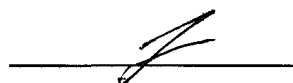
кандидат технічних наук
Дубровкіна Маргарита Василівна
Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут
«Іскра»,
завідувач науково-дослідної лабораторії спеціалізованих технологій.

Захист відбудеться “21” жовтня 2011 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.062.01 у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" за адресою: 61070, м. Харків, вул. Чкалова, 17, радіотехнічний корпус, ауд. 232.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

Автореферат розісланий “9” вересня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



М.О. Латкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Одним з головних завдань соціально-економічного розвитку країни є інтенсифікація виробництва на базі науково-технічного прогресу, при максимальному використанні таких резервів, як зниження матеріаломісткості, собівартості, поліпшення якості продукції. Рівень промислового розвитку передових країн на сучасному етапі характеризується не лише обсягом виробництва і асортиментом продукції, що випускається, але і показниками її якості. Відсутність контролю або його неякісне виконання може привести не лише до порушення умов їх експлуатації, але і до передчасного припинення функціонування виробу і пов'язаному з цим значному матеріальному збитку, а також тяжким наслідком: вибухонебезпечній ситуації, виникненню пожежі, отруєнню докільця і трагічної загибелі людей. По масштабах втрат від надзвичайних ситуацій, у зв'язку з крайньою зношеністю до 80 % устаткування, технобезопасність також є актуальною проблемою, в зв'язку, з чим потрібне постійне інформаційне діагностування якості сплаву і металовиробів.

Глобалізація технічної діагностики передбачає перш за все великомасштабне збільшення кількості діагностичних операцій і технологій для контролю якості і технічного стану сплавів і виробів для досягнення екологічної, техногенної безпеки, що у свою чергу вимагає розробки технічних засобів і інформаційних технологій. Також високотехнологічні підприємства в цілях підвищення якості виробів постійно збільшують об'єми операцій контролю і чисельність контролюючого персоналу.

Важливим засобом вирішення цих проблем є використання об'єктивних фізичних методів контролю, таких як металографічний аналіз. Постійне підвищення вимог, що пред'являються до якості чорних сплавів різних груп і класів, викликає необхідність розробки комплексної системи контролю якості продукції.

Серед найбільш значних робіт в області автоматизації аналізу сплавів, виконаних раніше іншими авторами, можна виділити роботи А. С. Яковлева, М. С. Філінова, Ф. С. Фурсова, А.А. Чубова, а також ряд програмних розробок фірм: «SIAMS», «ВідеоТест», «Нові експертні системи». У цих роботах не вирішені питання комплексної автоматизованої оцінки якості сплавів за всіма характеристиками (хімічний склад, структура, властивості), а розглянуті в них методи дозволяють проводити лише кількісний металографічний аналіз.

Оскільки в основу проведення металографічного аналізу покладено отримання та інтерпретація зображень мікроструктур сплавів, то актуальною є розробка нових методів та інформаційних технологій обробки металографічних зображень що дозволять оцінку якості сплаву по всіх характеристиках. Крім того існує необхідність створення системи оперативного металографічного аналізу, оскільки існуючі рішення проводять металографічний аналіз з великими затратами часу на попереднє вивчення зображення мікроструктури сплаву.

Таким чином, розробка інформаційної технології оцінки характеристик сплавів в металографічному аналізі є **актуальною** науково-прикладною задачею, вирішення якої дозволить підвищити оперативність металографічного аналізу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Теоретичні і експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи проводилися в Донбаському державному технічному університеті з пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України в рамках науково-дослідної роботи «Проблема розвитку Донецького гірничо-металургійного центру епохи бронзи» № ДР 0109U002508. В рамках даної роботи використовувалася розроблена комп'ютерна система металографічного аналізу для автоматизованого вивчення мікроструктури бронзи та визначення її властивостей.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення оперативності металографічного аналізу із забезпеченням допустимої погрішності вимірів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- провести аналіз існуючих методів, моделей і інструментальних засобів автоматизації процесу металографічного аналізу;
- розробити метод визначення характеристик сплавів, який забезпечує допустиму погрішність вимірів;
- створити метод визначення марки сплаву згідно з діючими стандартами;
- розробити метод визначення властивостей сплавів;
- розробити інформаційну технологію оцінки характеристик сплавів в металографічному аналізі;
- виконати практичне впровадження запропонованих методів і інформаційної технології оцінки характеристик сплавів.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого металографічного аналізу.

Предмет дослідження – моделі, методи і інформаційна технологія автоматизованого металографічного аналізу.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в дисертації завдань використовувалися: апарат нейронних мереж при створенні методів визначення характеристик сплавів, методи математичного моделювання при описі процесу металографічного аналізу, методологія об'єктно-орієнтованого програмування для проектування інструментального засобу, теорія прецедентів для розробки методу визначення марки сплавів, елементи теорії ймовірності для оцінки функціонування розробленої системи.

Наукова новизна одержаних результатів:

1) *вперше* розроблено метод визначення характеристик сплавів на основі аналізу їх зображень, який на відміну від існуючих, заснований на використанні інтелектуальних технологій для сегментації і класифікації зображення мікроструктури від-

повідно до еталонних зображень, що дозволяє збільшити оперативність визначення характеристик сплавів;

2) **удосконалено** метод оцінки властивостей сплавів, шляхом використання експертної системи для аналізу різних типів дефектів і характеристик сплавів, що дозволяє автоматизувати процеси підтримки прийняття рішень при виборі групи призначення сплаву і визначенні його властивостей;

3) **дістав подальшого розвитку** метод визначення марки сплавів, за рахунок використання методу прецедентів для аналізу характеристик сплавів, що дозволило автоматизувати етап вибору варіанту марки сплаву відповідно до існуючих стандартів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що наукові положення дисертаційної роботи доведені до рівня, придатного для практичного впровадження при розробці комп'ютерної системи металографічного аналізу. В результаті роботи створеної системи час проведення металографічного аналізу одного зразка знижено з 40 до 1 хвилини.

Результати досліджень впроваджені в:

– державному науково-виробничому підприємстві «Фотон» (акт впровадження 28.01.2011);

– навчальному процесі в Донбаському державному технічному університеті (акт впровадження 21.01.2011).

Особистий внесок здобувача. Наукові положення і результати, викладені, в дисертації отримані автором особисто.

У друкарських роботах, які опубліковані в співавторстві, особисто здобувачу належать:

у [1] - модель нейронної мережі розпізнавання металографічних зображень, інформаційна технологія металографічного аналізу; у [4] – метод і система підтримки прийняття рішень для визначення марки сталі; у [5] - аналіз сучасного стану питання контролю якості сплавів, аналіз існуючих систем металографічного контролю якості сплавів; у [7] - інформаційна модель комп'ютерної системи металографічного контролю якості сплавів; у [8] - спосіб визначення показників якості сплавів, заснований на використанні нейронних мереж; у [9] - структура автоматизованої системи металографічного контролю якості сплавів; у [12] - принципи побудови комп'ютерної системи металографічного контролю якості сплавів; у [13] - модель розміщення комп'ютерної системи металографічного аналізу.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати роботи докладалися і обговорювалися на наступних міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях:

- «Інформаційна техніка і електромеханіка» (Луганськ, 2009 р.);
- «Сучасні інформаційні та електронні технології СІЕТ-2009» (Одеса, 2009 р.);
- «Системний аналіз і інформаційні технології САІТ-2009» (Київ, 2009);

- «Інформаційні технології і інформаційна безпека в науці, техніці та освіті (ІНФОТЕХ - 2009)» (Севастополь 2009 р.);
- «Інформаційні комп'ютерні технології в машинобудуванні» (ІКТМ м. Харків, 2009, 2010 рр.);
- «Гарантоздатні (надійні і безпечні) системи, сервіси і технології Dessert-2010» (Кіровоград, 2010).
- Науково-технічний семінар «Критичні комп'ютерні технології і системи (КріКТехС)» (Харків, 2011).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 14 наукових працях. Серед них 7 статей в науково-технічних журналах і збірках згідно переліку ВАК України, а також 5 тез доповідей в збірниках праць наукових конференцій. Отримано 2 державні патенти України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Повний об'єм дисертації складає – 140 сторінок, у тому числі 4 рисунки на 2 окремих сторінках і 34 рисунки по тексту, 1 таблиця на 1 окремій сторінці і 7 таблиць по тексту, 2 додатки на 5 сторінках і список використаних джерел з 126 найменування на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить: обґрунтування актуальності теми й наукових задач; інформацію про зв'язок роботи з науковими програмами; мету й задачі дослідження; об'єкт, предмет і методи дослідження; характеристику наукової новизни й практичного значення отриманих результатів, а також особистого внеску здобувача; відомості щодо реалізації, апробації та публікації результатів.

У **першому розділі** виконано аналіз сучасного стану питання автоматизованого контролю якості сплавів на промислових підприємствах. Даному питанню присвячені наукові дослідження багатьох учених: А. С. Яковлева, М. С. Філінова, Ф. С. Фурсова, А.А. Дубова, А.А. Чубова, Р.Н. Калугина і ін. Показана доцільність використання металографічного аналізу для контролю якості сплавів, оскільки саме цей метод є найбільш інформативним, з точки зору отримання різного вигляду характеристик сплаву.

Проведено аналіз існуючих систем автоматизованого металографічного контролю якості сплавів таких фірм, як «ВідеоТест», «SIAMS». Аналіз показав, що сучасні системи металографічного аналізу дозволяють проводити лише кількісний аналіз, але зараз існує необхідність отримання якісних характеристик на основі кількісного аналізу.

Проаналізовано металографічний спосіб контролю якості сплавів, внаслідок чого було виявлено, що в основі даного способу лежить отримання та інтерпретація зображень мікроструктур сплавів. У зв'язку з чим, були досліджені існуючі методи обробки зображень, які можуть використовуватися для обробки зображень мікро-

структур сплавів. В результаті проведеного аналізу існуючих способів обробки зображень був зроблений вивід про доцільність вживання апарату нейронних мереж для обробки металографічних зображень.

Відповідно з результатами аналізу сформульована загальна наукова задача дисертації. Обґрунтовано методика досліджень.

Результати роботи за розділом опубліковані в [1, 3, 5]

Другий розділ дисертації присвячено опису моделі металографічного аналізу та розробці моделі та метода визначення характеристик сплавів.

Класичним металографічним аналізом є визначення списку параметрів I :

$$I = \langle mr, g_f, c_f, ph_f, tp_f, v_f \rangle, \quad (1)$$

де: mr – марка сплаву;

g_f – бал зерна досліджуваного сплаву;

c_f – процентний вміст вуглецю в сплаві;

ph_f – співвідношення фаз фериту і перліту;

tp_f – тип дефекту сплаву;

v_f – тип неметалічного включення.

Даний список представляє собою множину тільки кількісних характеристик сплаву. Тому, модернізація моделі (1) виконана в частині розширення (уточнення):

– визначення кількісних характеристик сплавів – множина N ;

– визначення якісних характеристик сплавів – множина Q ;

– оцінюваних властивостей сплавів (межа міцності, межа текучості і т. д.) – множина P .

$$I = \langle N, Q, P, E \rangle. \quad (2)$$

Також, вираз (2) містить множину параметрів експертного висновку відносно досліджуваного сплаву E , тобто експертний висновок про відповідність сплаву до нормативних вимог підприємства. Дана модель включає всі елементи, необхідні для проведення повного металографічного аналізу сплавів. Таким чином, вираз (2) є розширеною моделлю металографічного аналізу.

Для визначення елементів списку I розроблено метод визначення характеристик сплавів.

Згідно методу на першому етапі отримане зображення мікроструктури сплаву піддається попередній обробці для виділення інформаційних ознак, які є вхідними значеннями для нейронної мережі, що здійснює визначення кількісних характеристик сплаву. На другому етапі методу виконується нейромережна обробка набутих вхідних значень з сегментацією зображення в прихованому шарі нейронної мережі для визначення і класифікації характеристик сплаву, згідно з діючими стандартами.

Спочатку зображення мікроструктури сплаву було бінарізовано та оброблено фільтром Превіта, що дозволило виділити на зображенні його структурні елементи та обчислити значення яскравості цих елементів.

Далі зображення аналізувалось нейронною мережею. Нейронна мережа для вирішення поставленого завдання є багатошаровим перцептроном і має вхідний шар, прихований шар і вихідний шар нейронів. Кількість нейронів у вхідному шарі обчислюється множенням на 3 кількості базових точок у вибірці зображень (оскільки точка характеризується 3 параметрами: косинус, синус, яскравість). Величина прихованого шару обчислюється діленням на 3 кількості вхідного шару, оскільки в прихованому шарі здійснюється сегментація зображення на основі базових точок сегментів. Розмір вихідного шару визначається кількістю марок сплаву для розпізнавання.

Структура нейронної мережі визначення характеристик сплаву для аналізу на визначення балу зерна приведена на рисунку 1.

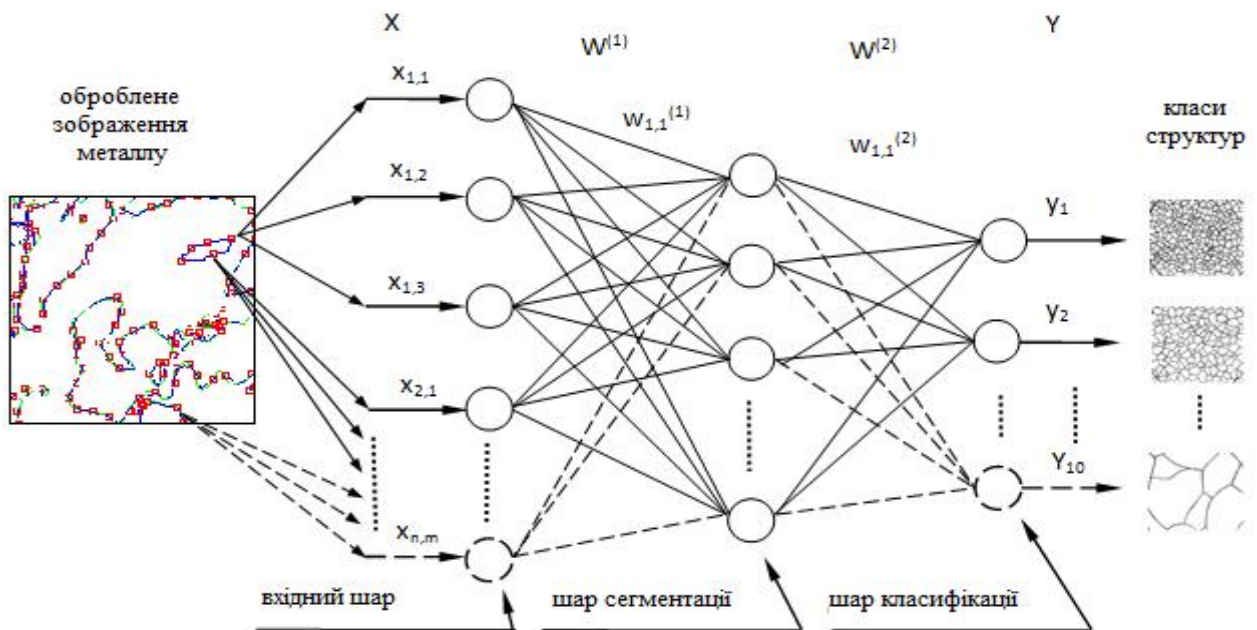


Рис.1. Структура нейронної мережі визначення характеристик сплаву

Для вирішення завдання навчання нейронної мережі був вибраний алгоритм зворотного розповсюдження похибки із сигмоїдальною функцією активації:

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-x_j}}. \quad (3)$$

При розпізнаванні зображення на виході формується певне значення, яке не є рівним еталонному виходу. Тоді погрішність нейронної мережі при розпізнаванні зображення обчислюється:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y(k_i))^2, \quad (4)$$

де: E – похибка розпізнавання;

y_i – значення i -го виходу мережі при розпізнаванні зображення;

$y(\kappa_i)$ – значення i -го еталонного виходу мережі, яке відповідає класу зображення.

Оскільки розпізнавання зображення визначає характеристику, то погрішність розпізнавання є погрішністю визначення характеристик.

Навчання нейронної мережі здійснювалось на основі еталонних зображень мікроструктур сплавів описаних в ГОСТ 5639-82, ГОСТ 1778-70, ГОСТ 8233-56 і ін. Навчальна вибірка складала 180 зображень мікроструктур сплавів, при цьому, з них 90 «хороших» і 90 «поганих». Під «хорошими» розуміються зображення еталонних мікроструктур сплавів, а під «поганими» приклади спотворених шумами зображень еталонів, що як наслідок веде до неправильного розпізнавання (класифікації) зображення нейронною мережею. Таким чином, нейронна мережа навчалась невірному розпізнаванню, тобто реагуванню на некоректні зображення. У якості контрольної вибірки використовувалося 180 зображень мікроструктур сплавів.

Таким чином, були спроектовані нейронні мережі з різними структурами для відповідних стандартів. Наприклад, нейронна мережа для визначення балу зерна по ГОСТ 5639-82 має структуру 510-170-10, тобто 510 нейронів у вхідному шарі, 170 в прихованому шарі, 10 у вихідному шарі. Графіки зміни значення похибок навчання і розпізнавання даної нейронної мережі представлені на рисунку 2.

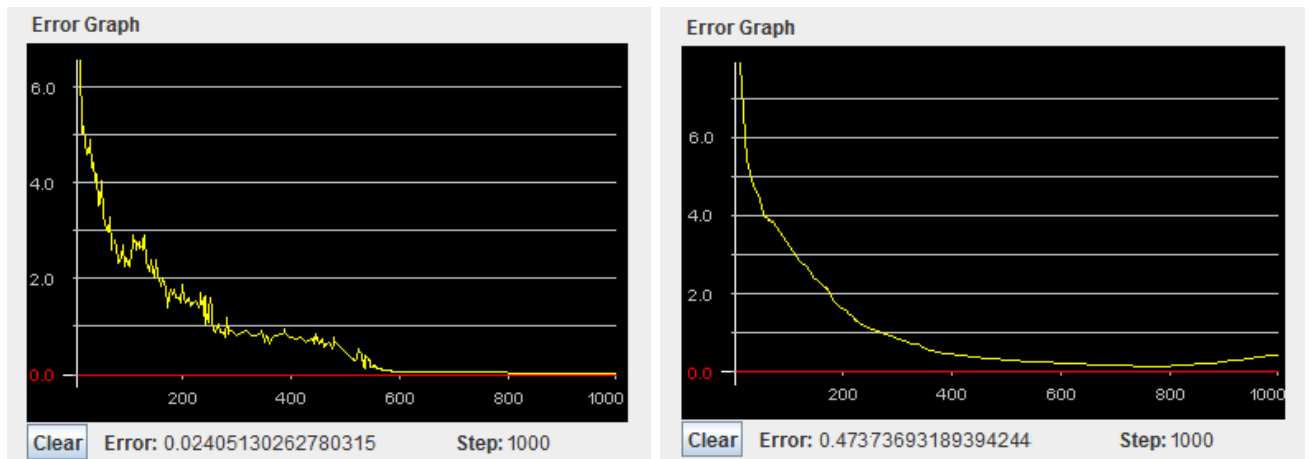


Рис.2. Графіки зміни залежності похибки навчання E_L і похибки розпізнавання E_G від кількості епох навчання

У якості тестової вибірки використовувалося 231 зображення мікроструктур сплавів. З них 224 зображення були розпізнані (класифіковані) коректно згідно ГОСТ 5639-82.

Для запобігання процесу перенавчання навчальна множина зображень мікроструктур розбита на 2 множини: навчальну і контрольну. В результаті на підставі графіків змін похибок визначена оптимальна кількість епох навчання, яка складала 800 епох для даної структури нейронної мережі. При цьому середньоквадратична похибка (СКП) складала $E=0,02437$. Результати функціонування створених нейронних мереж для визначення кількісних характеристик сплаву зведені в таблицю 1.

Результати функціонування нейронних мереж для визначення характеристик сплавів

Стандарт і характеристики сплаву		Структура нейронної мережі	СКП	Оптимальна кількість епох навчання	Загальна кількість аналізованих зображень	Кількість коректно розпізнаних зображень
ГОСТ 5639-82	Бал зерна	510-170-10	0,0243	800	231	224
ГОСТ 8233-56	Співвідношення Ферит/Перліт	375-125-10	0,0384	950	121	119
	Співвідношення Мартенсит/Троостит	375-125-10	0,0351	1300	121	118
	Бал карбідної сітки	210-70-6	0,0259	850	121	118
ГОСТ 1778-70	Бал нітридів строкових	210-70-5	0,0163	700	142	134
	Бал сульфідів	210-70-5	0,0095	850	142	133
ASTME 1382	Бал феритного зерна	600-200-19	0,0573	1300	231	217

У другому розділі також розглянуто метод визначення марки сплаву на основі його хімічного складу і характеристик, таких як співвідношення фериту та перліту. Оскільки різний набір хімічних елементів з різною долею їх включення в сплав утворюють різні ситуації, рішення яких дозволяє віднести сплав до певної марки, то для вирішення завдання класифікації марки сплаву застосовано метод прецедентів.

По-перше виконується формування бази прецедентів щодо сплавів та їх хімічного складу. На етапі зазначення ознак для визначення рівня прецеденту визначається оціночна функція ознак, використовуючи відношення подібності, побудоване на множині найбільш подібних ознак. Для набору ваг ознак: w_j ($w_j \in [0,1], j=1..n$) і пари прецедентів e_p и e_q виважена міра близькості:

$$d_{pq}^{(w)} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n w_j^2 (x_{pj} - x_{qj})^2 \right)} \quad (5)$$

Міра подібності прецедентів $SM_{pq}^{(w)}$ визначається за формулою:

$$SM_{pq}^{(w)} = \frac{1}{1 + d_{pq}^{(w)}}. \quad (6)$$

Оціночна функція ознак визначається по формулі:

$$E(w) = 2 \cdot \left(\sum_p \sum_{q(q < p)} (SM_{pq}^{(w)} (1 - SM_{pq}) - (1 - SM_{pq}^{(w)}) SM_{pq}) \right) / (N(N-1)), \quad (7)$$

де N – число прецедентів в базі прецедентів.

На етапі кластеризації прецедентів за виявленими признаками виконується кластеризація бази прецедентів за наступним алгоритмом:

1) задається пороговий рівень значимості $\beta \in [0, 1]$;

2) визначається матриця подібності $SM = (SM_{pq}^{(w)})$;

3) визначається модифікована матриця подібності $SM1 = SM \circ SM = (S_{pk})$,

де $S_{pk} = \max_k [\min (SM_{pq}^{(w)}, SM_{kq}^{(w)})]$;

4) якщо $SM1 \subset SM$, то визначаються окремі кластери за правилом: прецедент p і прецедент q належать до одного кластеру, якщо $s_{pq} \geq \beta$, в іншому SM випадку змінюється на $SM1$ і виконується повернення до шагу 3.

На етапі пошуку близьких сплавів, знаходяться найбільш подібні з сплавом еталони, на основі заданої міри подібності.

Набір характеристик сплаву – X_i , де i – порядковий номер характеристики.

Відхилення характеристик досліджуваного сплаву визначається як:

$$\Delta X_i = X_s - X_i. \quad (8)$$

Багатофакторна загальна оцінка «відстані» характеристик сплавів від еталонів буде мати вигляд:

$$L = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Delta X_i. \quad (9)$$

Тоді принцип оптимальності буде мати вигляд:

$$X_n^o = \arg_{x=X} \min \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Delta X_i. \quad (10)$$

На основі цього виразу виконується вибір прецеденту з множини подібних прецедентів.

Результати роботи за розділом опубліковані в [1, 2, 4, 7, 8, 12]

Третій розділ присвячено розробці архітектури комп'ютерної системи металографічного аналізу. Архітектура комп'ютерної системи представлена у вигляді сукупності підсистем (рис. 3), взаємодія між якими забезпечує проведення автоматизованого металографічного аналізу. Основним компонентом інформаційного потоку у системі є зображення мікроструктури сплаву $f(x,y)$. Опис інформаційного потоку можна представити у вигляді:

$$I_i = \{f(x,y), m_i, E_i, N_i, Q_i, \}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

де: $f(x,y)$ – зображення мікроструктури сплаву;

m_i – марка сплаву (наприклад: сталь 10ХСНД);

E_i – експертний висновок;

N_i – набір кількісних характеристик сплаву;

Q_i – набір якісних характеристик сплаву.

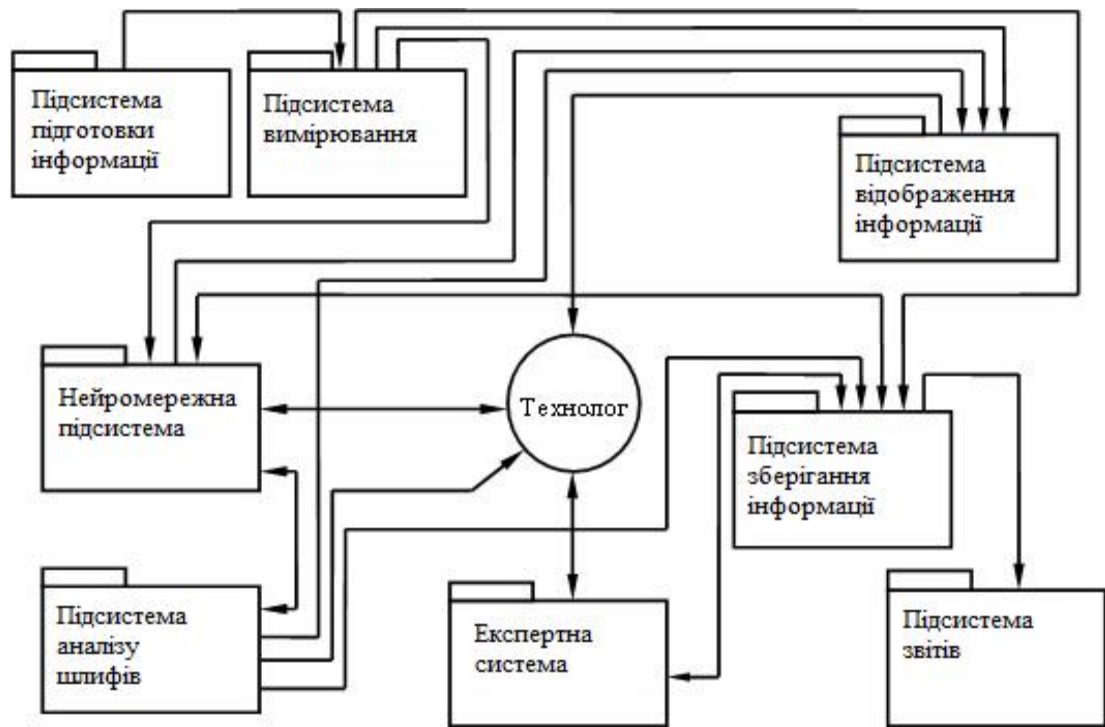


Рис. 3. Архітектура комп'ютерної системи металографічного аналізу

Комп'ютерна система, побудована за запропонованою схемою, працює таким чином.

1. Після підготовки досліджуваній зразок поміщається на робочий стіл підсистеми виміру (мікроскоп). Цифрова відеокамера отримує зображення $P(x, y)$ і передає його в ЕОМ в оцифрованому виді у вигляді потоку відеоінформації.

2. Цей потік поступає на вхід спеціалізованого програмного забезпечення. Тому що на зображення накладаються певні вимоги, яким воно повинне відповідати, перед подальшими діями модуль обробки вносить зміни в структуру зображення:

$$f(x, y) = F_{\text{preparation}}(P(x, y)). \quad (12)$$

Після чого проводиться обчислення множини інформаційних ознак зображення:

$$p_{x, y} = \{\sin(A), \cos(A), G_p\}, \quad (13)$$

де $p_{x, y}$ - набір параметрів, що характеризують задану базову точку зображення. Ця множина обчислюється по формулах фільтру Превіта.

3. Далі характеристики зображення спрямовуються на вхід X_{NN} нейромережної підсистеми. Нейромережний модуль аналізує їх і формує результат розпізнавання Y_{NN} .

$$Y_{NN} = f (X_{NN}). \quad (14)$$

Результат разом із зображенням поступає на сервер обробки і зберігання даних (підсистема зберігання даних). Оператор і (чи) технолог має можливість в реальному часі спостерігати за процесом роботи.

4. Крім того, сервер накопичує результати роботи і за допомогою експертної системи дозволяє оцінювати властивості сплаву:

$$(\sigma_{Вн}, \sigma_{Тн}, \sigma_{5н}) \rightarrow (\sigma_{В}, \sigma_{Т}, \sigma_{5}). \quad (15)$$

На основі оцінених властивостей система генерує рекомендації і здійснює підтримку прийняття рішень відносно групи призначення сплаву. Також технолог за допомогою підсистеми обробки мікрошліфів має можливість самостійно виконати обробку мікроструктури. Зберігання досвіду нейронної мережі здійснюється у базі даних. Отримане рішення також спрямовується у базу, для подальшого зберігання.

5. Після обробки інформації і генерації рекомендацій, що управляють, дані поступають в підсистему відображення інформації, яка за допомогою діаграм виводить результат дослідження. При необхідності за допомогою підсистеми створення звітів надається можливість створення звітів про виконане дослідження зразка з рекомендаціями.

Також, у третьому розділі розроблено метод оцінки властивостей сплавів, заснований на використанні інтелектуальних технологій. Метод складається з двох основних етапів:

1. Визначення номінальних значень властивостей сплавів і групи їх призначення, за допомогою експертної системи.

2. Оцінка нейронною мережею властивостей, з визначенням реальних величин значень властивостей сплавів.

Для реалізації першого етапу метода створена експертна система (рис. 4.) із базою знань о сплавах, яка побудована на продукційній моделі.

Продукції у базі знань представлені у вигляді:

$$Pr = \langle \text{num}_{Pr}; L; A \Rightarrow h; MD_{Pr}; MN_{Pr} \rangle, \quad (16)$$

де: num_{Pr} – ім'я продукції (пропонується використовувати порядковий номер); L – сфера застосування продукції («хімічний фактор», «фізичний фактор» и т.д.); $A \Rightarrow h$ – ядро продукції, де $A = \{A_n\}$, $n = \overline{1, g}$ – множина посилок, які описують певну ситуацію, $h = \{h_j\}$, $j = \overline{1, J}$ – множина гіпотез, які розглядаються в процесі логічного виводу; MD_{Pr} і MN_{Pr} – відповідно міра довіри та міра недовіри гіпотезі h .

Інтерпретацією ядра продукції є вираз:

$$\text{ЕСЛИ } A_1 \text{ и/или } \dots A_n, \text{ ТО } h_j. \quad (17)$$

Фрагмент бази знань приведено нижче:

< 1; механічні властивості сталі; ЕСЛИ $m_r = \text{«Ст0»}$ ТО $\sigma_B = 300$ МПа, $\sigma_5 = 22\%$, $gr = \text{«конструкційна»}$; 1; 0 >

< 2; механічні властивості сталі; ЕСЛИ $m_r = \text{«Ст1кп2»}$ ТО $\sigma_B = 310-400$ МПа, $\sigma_5 = 33\%$, $gr = \text{«конструкційна»}$; 1; 0 >

< 3; механічні властивості сталі; ЕСЛИ $m_r = \text{«Ст1сп»}$ ТО $\sigma_B = 320-420$ МПа, $\sigma_5 = 30\%$, $\sigma_T = 190-220$ МПа, $gr = \text{«конструкційна»}$; 1; 0 >

< 4; механічні властивості сталі; ЕСЛИ $m_r = \text{«Ст2кп»}$ ТО $\sigma_B = 330-420$ МПа, $\sigma_5 = 32\%$, $gr = \text{«конструкційна»}$; 1; 0 >

З моделі видно, що значення $M_{Dr} = 1$, а $MND_{Dr} = 0$, це пояснюється тим, що відомості про номінальні властивості сталі були отримані з діючих стандартів.

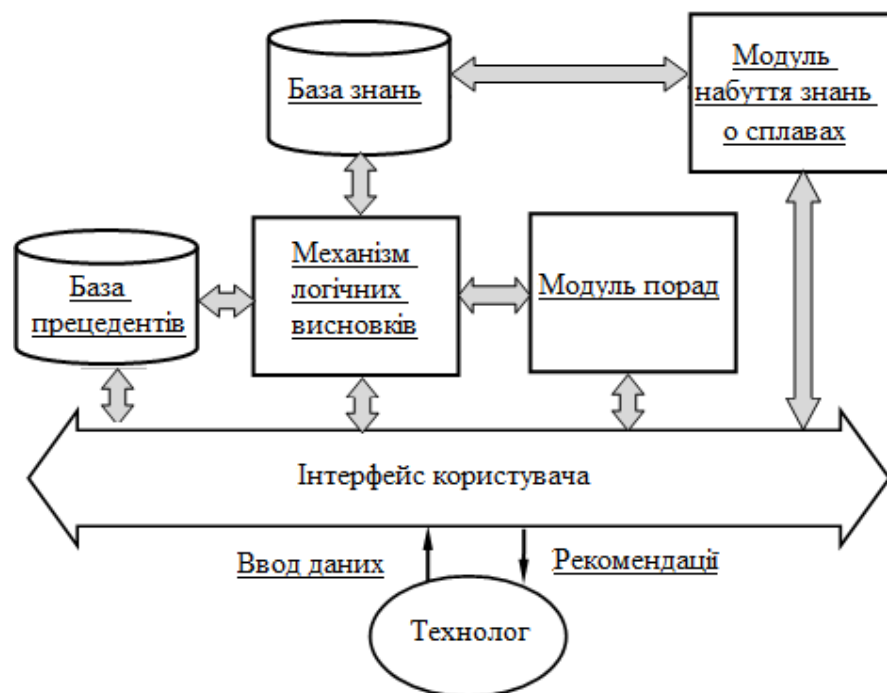


Рис. 4. Структура експертної системи

Для виконання другого етапу методу була спроектована нейронна мережа за типом багатошарового персептрона. Навчання нейронної мережі проводилось за алгоритмом зворотного розповсюдження похибки на основі відомостей про різні марки сталі, згідно стандартів, а також на основі відомостей про залежності впливу неметалевих включень на властивості сталі.

Для навчання коректування вагів нейронної мережі вибірка розбита на навчальну та контрольну з інформацією про 120 марки сталей. У якості тестової вибірки використовувалась інформація про 90 марки сталей, з них 87 були визначені коректно.

Спроектована нейронна мережа для визначення властивостей сталей має структуру 8-10-3, тобто 8 нейронів у вхідному шарі, 10 в прихованому шарі, 3 у вихідному шарі, що визначається кількістю властивостей: σ_B - межа міцності сплаву; σ_T -

межа текучості сплаву; σ_5 - відносне подовження сплаву. Згідно залежностей зміни похибок навчання і розпізнавання середньоквадратична похибка нейронної мережі (СКП) склала $E = 0,05159$.

Результати роботи за розділом опубліковані в [3, 7, 11, 13, 14]

У **четвертому розділі** на підставі розроблених методів металографічного аналізу запропонована інформаційна технологія автоматизованого металографічного аналізу як сукупність методів, апаратних і програмних засобів перетворення інформації.

Таблиця 2

Інформаційна технологія (основні етапи)

Операції	Вихідні відомості	Результат	Засоби інформаційної технології	
			Моделі, методи	Засоби
1. Формування зображення мікроструктури сплаву	Мікрошліф сплаву	Зображення мікроструктури – $f(x,y)$	Метод формування зображення мікроструктури	Металографічний мікроскоп МИМ-8М і фотокамера
2. Проведення аналізу зображення	Зображення мікроструктури – $f(x,y)$	Характеристики сплаву (g_f, c_f, ph_f)	Метод визначення характеристик сплавів	Розроблений інструментальний засіб MetalNeuro
3. Визначення марки сплаву	Хім. состав сплаву ($C, Si..$)	Марка сплаву – mr	Метод визначення марки сплаву	
4. Визначення властивостей сплаву	Марка сплаву – mr , дефекти сплаву.	Властивості сплаву (σ_B, σ_5)	Метод оцінки властивостей сплавів	
5. Формування о відповідності вимогам	Марка сплаву mr і його властивості σ_B, σ_5	Висновок про відповідність сплаву до вимог	Алгоритм формування висновку про відповідність вимогам	
6. Відправка результату аналізу клієнту	Номер цеху і ідентифікатор зображення	Підсумковий звіт про металографічний аналіз	Алгоритм формування і відправки результатів до цеху	

Було розроблено інструментальний засіб у вигляді програмного забезпечення, який забезпечує виконання етапів інформаційної технології. За допомогою розроб-

леного нейромережного програмного забезпечення був проведений експеримент розпізнавання зображень мікроструктур сплавів марки 10ХСНД.

Була визначена ймовірність коректного розпізнавання нейронної мережі для визначення балу зерна по ГОСТ 5639-82. Результати експериментів для визначення інших характеристик сплавів зведені в таблицю 3. Результати функціонування розробленої комп'ютерної системи металографічного аналізу зведені в таблицю 4.

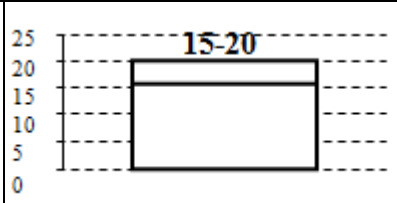
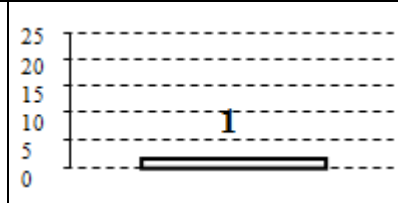
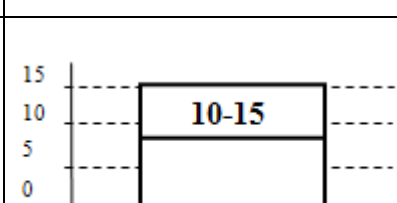
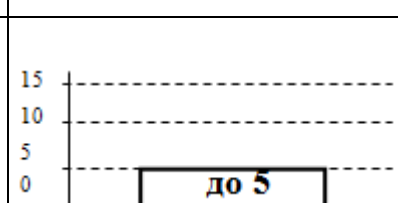
Таблиця 3

Результати визначення кількісних характеристик сплавів

Характеристики сплаву	Загальна кількість зображень сплаву	Кількість коректно розпізнаних зображень сплаву	% коректного розпізнавання
Бал зерна	231	224	93,1 %
Співвідношення фаз мартенсит / троостит	121	118	95,6 %
Співвідношення фаз ферит/перліт	121	119	92,3 %
Бал сульфідів	142	133	94,2 %
Бал силікатів	142	134	93,6 %
Бал нітридів строкових	142	134	93,9 %

Таблиця 4

Оцінка функціонування розробленої системи

Види знімків	Оцінки системи	Існуючі системи (засновані на класичних підходах розпізнавання)	Розроблена система (заснована на нейронних мережах)
Металографічні знімки	Час аналізу знімку, хв.		
	Відхилення параметрів зерен %		

Таким чином, час розпізнавання і обробки одного зображення мікроструктури сплаву склав близько 1 хвилини. Результати експериментальних досліджень розробленої комп'ютерної системи і моделювання підтвердили обґрунтованість вибору нейронної мережі.

Результати роботи за розділом опубліковані в [1, 6, 10, 11]

ВИСНОВКИ

В дисертаційному дослідженні вирішено актуальну науково-прикладну задачу розробки інформаційної технології оцінки характеристик сплавів в металографічному аналізі, яка дозволяє підвищити його оперативність.

В процесі виконання досліджень одержано такі результати:

1. Проведено аналіз існуючих способів і систем контролю якості сплавів, який показав недоліки використання існуючих металографічних систем. Також показана відсутність систем металографічного аналізу для визначення якісних показників, на підставі чого доведена актуальність розробки інформаційного забезпечення по створенню систем такого роду.

2. Розроблено метод визначення характеристик сплавів, який ґрунтується на сегментації і класифікації їх зображень за допомогою інтелектуальних технологій, що дозволило збільшити оперативність визначення характеристик сплавів, при цьому забезпечивши погрішність вимірів 5%.

3. Розроблено метод визначення марки сплавів, основою якого є метод прецедентів, який використовується для аналізу характеристик сплавів, що дозволило автоматизувати етап вибору варіанту марки сплаву відповідно до існуючих стандартів.

4. Розроблено метод оцінки властивостей сплавів, що базується на автоматизованому аналізі різних типів дефектів і характеристик сплавів за допомогою експертної системи, що дозволило автоматизувати процеси підтримки прийняття рішень при виборі групи призначення сплаву і визначенні його властивостей.

5. Розроблені прикладна інформаційна технологія оцінки характеристик сплавів в металографічному аналізі і архітектура експертної системи для визначення властивостей сплаву. Основними елементами запропонованої інформаційної технології є: визначення характеристик сплаву; визначення марки сплаву; визначення можливої групи призначення сплаву і обчислення його властивостей; визначення відповідності сплаву заявленим вимогам.

6. Результати досліджень апробовані і впроваджені на підприємствах, що використовують металографічний аналіз для визначення якості сплавів, а також в учбовому процесі Донбаського державного технічного університету.

7. Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

- використанням апробованих методів визначення характеристик сплавів як базових і зведенням результатів, що отримуються з використанням запропонованих методів, до відомих;

- результатами практичного впровадження методів і інструментальних засобів підтримки процесу металографічного аналізу.

8. Використання розробленої комп'ютерної системи дозволяє підвищити оперативність металографічного аналізу на підприємстві.

9. Подальші дослідження доцільно проводити в напрямках:

- розробки методів з урахуванням завдань діагностування металовиробів по фактичному технічному (інформаційно-технічному) стану;

- розробки засобів неруйнівного оптичного аналізу сплавів, із застосуванням методів кількісного і якісного аналізу сплавів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гонтовой С.В. Автоматизированная компьютерная система металлографического контроля качества металлов / С.В. Гонтовой, В.А. Емельянов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 5(46). – С.197-202.

2. Емельянов В.А. Нейросетевой метод определения количественных характеристик металлов / В.А. Емельянов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №4(45). – С.169-173.

3. Ємельянов В.О. Експертна система для металографічного контролю якості металів / В.О. Ємельянов // Наукові праці. Сер. «Комп'ютерні технології». – 2009. – Вип.104(117). – С.218-221.

4. Ємельянов В.О. Адаптація методу прецедентів для підтримки процесу визначення марки металу / В.О. Ємельянов, О.М.Фоменко // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – Вип.1 (25). – С.88-91.

5. Гонтовой С.В. Проблема автоматизированного контроля качества металлов и металлопродукции / С.В. Гонтовой, В.А. Емельянов // Труды Луганского отделения Международной Академии информатизации – Луганск, 2009. – №18(1). – С. 16-17.

6. Емельянов В.А. Объектная модель программного обеспечения для процесса металлографического контроля качества металлов / В.А. Емельянов // Системи обробки інформації: сб. науч. тр. Харьковский университет воздушных сил им. Кожедуба. – Вип.1(82). – Х., 2010. – С.30-33.

7. Гонтовой С.В. Информационная модель интеллектуальной автоматизированной системы металлографического контроля качества металлов / С.В. Гонтовой, В.А. Емельянов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Вып. 28. – Алчевск, 2009. – С. 447-452.

8. Пат. 40909 Україна МПК⁸, G06K9/00 G06E3/00 Спосіб визначення показників якості металів та металопродукції / Гонтовий С.В., Ємельянов В.О. – Зареєстр. 12.12.2008: Опубл. 27.04.2009, Бюл. №8. – 4 с.
9. Пат. 42834 Україна МПК⁸, G06N1/00 Автоматизована система для металлографічного контролю якості металів / Гонтовий С.В., Ємельянов В.О. – Зареєстр. 10.02.2009: Опубл. 27.07.2009, Бюл. №14. – 3 с.
10. Емельянов В.А. Программное обеспечение автоматизированной компьютерной системы металлографического контроля качества металлов / В.А. Емельянов // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2009: Труды международной научно-технической конференции, Харків, 2009. – С. 4.
11. Емельянов В.А. Структура интеллектуальной автоматизированной системы металлографического контроля качества металлов / В.А. Емельянов // Системный анализ и информационные технологии – 2009: Труды 11-й международной научно-технической конференции, Киев, 2009. – С. 298.
12. Гонтовой С.В. Принципы построения интеллектуальной автоматизированной системы металлографического контроля качества металлов / С.В. Гонтовой, В.А. Емельянов // Современные информационные и электронные технологии – 2009: Труды 10-й международной научно-практической конференции, Одесса, 2009. – С. 36.
13. Гонтовой С.В. Структурная организация интеллектуальной системы металлографического контроля качества металлов / С.В. Гонтовой, В.А. Емельянов // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании "ИНФОТЕХ - 2009": Труды международной научно-технической конференции, Севастополь, 2009. – С. 331-333.
14. Емельянов В.А. Моделирование автоматизированной компьютерной системы металлографического анализа как системы массового обслуживания / В.А. Емельянов // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2010: Труды международной научно-технической конференции, Харків, 2010. – С. 121.

АНОТАЦІЯ

Ємельянов В.О. Інтелектуальна інформаційна технологія оцінки характеристик сплавів в металографічному аналізі - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології. – Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут» - Харків, 2011.

Проведений аналіз сучасного стану металографічного контролю якості металів показав, що подальше його вдосконалення можливе шляхом інтеграції інформаційних технологій і засобів комп'ютерної обробки зображень. Розроблені методи автоматизованого металографічного контролю якості металів. Розроблена структура

комп'ютерної системи металографічного аналізу. Запропонована експертна система, яка дозволяє визначати групу використання металу та оцінити його властивості.

Реалізація розроблених моделей здійснювалася при створенні програмного забезпечення: підсистем, що реалізують розроблений спосіб аналізу зображень мікроструктур металів, експертної системи. Запропонована інформаційна технологія автоматизованого металографічного аналізу з використанням експертної системи у вигляді сукупності моделей, методів та інструментальних засобів для перетворення інформації.

Ключові слова: металографічний аналіз, комп'ютерна система, інформаційна технологія, нейронна мережа, обробка зображень.

АННОТАЦИЯ

Емельянов В.А. Интеллектуальная информационная технология оценки характеристик сплавов в металлографическом анализе – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Харьков, 2011.

Проведенный анализ современного состояния металлографического контроля качества металлов показал, что дальнейшее его совершенствование возможно путем интеграции информационных технологий и средств компьютерной обработки изображений. Доказана необходимость разработки экспертной системы для проведения автоматизированного металлографического анализа.

Разработаны методы автоматизированного металлографического анализа сплавов, которые позволяют определять количественные и качественные характеристики сплавов, основанные на распознавании изображений их микроструктур. Разработаны архитектуры нейронных сетей для распознавания изображений микроструктур. Проведено исследование нейронных сетей с определением ошибки распознавания, которое показало их применимость для данной задачи. Адаптирован метод прецедентов к задаче определения марки сплава. Описано функционирование экспертной системы поддержки принятия решений на основе теории прецедентов.

Разработана структура компьютерной системы металлографического контроля качества металлов. Описан сетевой вариант организации разработанной системы, позволяющий осуществлять оперативный металлографический анализ на металлургическом предприятии.

Предложена экспертная система, которая позволяет определять группу использования металла и реальные значения его свойств. Описана база знаний, необходимая для функционирования экспертной системы.

Реализация разработанных методов осуществлялась при создании программного обеспечения: подсистем, реализующих разработанный способ анализа изображений микроструктур металлов, экспертной системы.

На основе разработанных методов и инструментальных средств, предложена информационная технология автоматизированной оценки характеристик сплавов, последовательное выполнение этапов которой позволяет проводить оперативный металлографический анализ на предприятии. Исследование разработанных методов и инструментальных средств показало, что разработанные средства обеспечивают высокую оперативность металлографического анализа.

Ключевые слова: металлографический анализ, компьютерная система, информационная технология, нейронная сеть, обработка изображений.

ABSTRACT

Iemelianov V.A. Intellectual information technology of evaluation of the characteristics of alloys in the metallographic analysis. – Manuscript.

Thesis for getting PhD degree of Technical Sciences by specialty 05.13.06 – Information Technologies. National aerospace university “Kharkiv aviation institute”. - Kharkiv, 2011.

The conducted analysis of the modern state of metallography control of quality of metals rotined that his further perfection is possible by integration of information technologies and facilities of the computer processing of images. The neuronal methods of the automated metallography control of quality of metals are developed.

The structure of the computer metallography checking of metals quality system is developed. A consulting model which allows to determine the group of the use of metal is offered. Realization of the developed models was carried out at creation of software: subsystems, realizing the developed method of analysis of images of microstructures of metals, consulting model.

Information technology of the automated metallography control of metals quality is offered.

Keywords: metallographic analysis, computer system, information technology, neuron network, processing of images.

Відповід. За випуск М.О. Латкін
Підписано до друку ХХ.ХХ.2011р.
Формат 60х90/16. Папір офс. №2. Офс. друк.
Умовн. друк. арк. 1,0. Наклад 100 прим. Зам №