

Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 006.91

Н.В. Глухова

ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ЗОБРАЖЕНЬ ГАЗОРОЗРЯДНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Розглянуто існуючі проблеми, що виникають при виділенні інформативних ознак зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних та біологічних об'єктів. Запропоновано методи параметризації зображень, які полягають у встановленні інтегральних та локальних ознак картин світіння об'єктів в імпульсному електромагнітному полі високої напруженості. Розроблено способи оцінки невизначеності вимірювань на етапах аналогової реєстрації зображень на рентгенівській плівці та реалізації процедури аналого-цифрового перетворення зображень.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, невизначеність вимірювань, газорозрядне випромінювання.

Вступ

В останній час все більшого розповсюдження набувають методи вимірювань, засновані на отриманні результатів експериментальних досліджень у вигляді зображень. Це обумовлено тим, що дво- або тривимірні зображення містять у собі значно більші об'єми інформації про властивості досліджуваного об'єкту, ніж окремі кількісні значення обмеженої низки параметрів. Також відомо, що у певних галузях науки та техніки методи діагностики та вимірювань, засновані на реєстрації зображень, виявляються унікальними та не мають альтернатив. Серед таких галузей можна зазначити технічну діагностику, неруйнівний контроль, металографію, окремі методи дослідження складу речовин, медичну діагностику, усі види досліджень із застосуванням мікроскопів.

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Наряду з очевидними перевагами експериментальних методів досліджень, вимірювальна процедура яких передбачає реєстрацію зображень, необхідно підкреслити головний їх недолік. Очевидно, що складність практичного впровадження таких методів полягає в необхідності оперувати великими обсягами вимірювальної інформації, значна частина якої може виявитися неінформативною складовою вимірювального сигналу у вигляді зображення.

На сьогоднішній день доступний широкий спектр методів обробки та аналізу зображень. Він включає різноманітні підходи від методів цифрової фільтрації до двовимірного вейвлет-перетворення [1]. При цьому при необхідності вирішення конкретної прикладної задачі досліджень вибір раціональних методів обробки та аналізу зображень виявля-

ється нетривіальним завданням [2]. Як підкреслюється у роботі [3] етап аналізу та параметризації зображень з метою вилучення інформативних ознак переважно ґрунтується на застосуванні евристичних алгоритмів. У загальному випадку необхідно виділення інваріантних інформативних ознак об'єкту, які є незалежними від масштабу та куту повороту об'єктів на зображенні [4]. З математичної точки зору формування простору інформативних ознак зображень є складною та погано формалізованою задачею. Саме тому вона вимагає від дослідника урахування природи сигналу, характеристик об'єкту вимірювань та особливостей організації вимірювального експерименту. У підсумку, сформований простір специфічних (паспортних) інформативних ознак зображень повинен забезпечити можливість розв'язання задач ідентифікації та класифікації.

Також необхідно відзначити, що на сьогоднішній день існує велика кількість публікацій, присвячених питанням обробки та параметризації зображень. Але у переважній більшості автори уникають розглядання метрологічного аспекту питання. Реєстрація вимірювальних даних у вигляді зображень надає можливості поєднання доступу для кількісної та якісної інформації щодо об'єкту досліджень одноразово. Однак, як зазначає автор статті [5], на сьогоднішній день відсутні роботи, у яких розглядаються проблеми метрологічного забезпечення реєстрації, обробки та аналізу зображень.

Метою статті є обґрунтований вибір раціональних методів виділення інформативних ознак зображень газорозрядного випромінювання та розробка метрологічного забезпечення для оцінки невизначеності параметрів зображень.

Основна частина

В рамках даних досліджень виявлення стану рідиннофазних об'єктів ґрунтується на отриманні зображень газорозрядного випромінювання об'єктів, стимульованого за рахунок утворення зовнішнього імпульсного електромагнітного поля високої напруженості. З цією метою використовується реєстратор ефекту Кірліан РЕК-1. Прилад забезпечує фіксацію на фоточутливому матеріалі або рентгенівській плівці газорозрядного випромінювання. Прилад відповідає вимогам ГОСТ 20790, ГОСТ 15150, ДСТУ 3798, ГОСТ 12.2.025, технічним умовам та комплекту технічної документації УЗ3.1.14311577000-2005.

Конструктивно реєстратор виконаний у вигляді приладу настільного виконання. В підставі корпусу розташовано плату управління з радіоелементами, пристроями комутації та сигналізації. На кришці реєстратора встановлено робочий електрод з фольгованого гетинаксу. Зверху над робочим електродом розташовано направляючий кондуктор. В основі роботи реєстратора РЕК-1 покладено ударне збудження контуру, який складається з індуктивності вторинної обмотки погоджуючого контуру та ємності навантаження, що підключено до неї. Утворені при цьому імпульси збудження забезпечують протікання струму через буферний резистор, робочий електрод, ланцюг з об'єктом досліджень та пасивний електрод.

Пристрій для оцінки стану рідиннофазного об'єкту, заснований на фотографуванні газового розряду від рідиннофазних об'єктів в електромагнітному полі, містить плоский високовольтний електрод 1 для розміщення на ньому фотоматеріалу 2 (рис. 1). На робочій поверхні ізоляованого плоского електрода 1 розміщують фотоматеріал (рентгенівська плівка) 2, на якому формують краплю води 3 за допомогою мірної ємності зі штоком 4 та штиркового електроду 5. Останній виконаний у вигляді порожнистої голки, вміщеної в металеву порожню трубку 6. Електрод 1 та трубка 6 приєднані до виходу високовольтного імпульсного генератора 7. Газорозрядне випромінювання зразка води у вигляді краплі 3 фіксують на фотоматеріалі 2. Знімний фіксатор встановлено над поверхнею фотоматеріалу на висоті, при якій забезпечується зазор між поверхнею фотоматеріалу і голкою, яку поміщено в металеву порожню трубку центрального отвору фіксатора.

Розглянутий спосіб реєстрації картини газорозрядного випромінювання є так званим «класичним» варіантом, який заснований на аналоговій формі фіксації розповсюдження газового розряду на фотоматеріалі. На сьогоднішній день розроблено також інші підходи з застосуванням у якості сенсору ПЗЗ-матриці, яка є чутливим елементом сучасних фото- та відеокамер. Однак цифровий спосіб реєстрації зображень газорозрядного випромінювання має ряд недоліків, детальний аналіз яких представлений у роботах [6, 7].

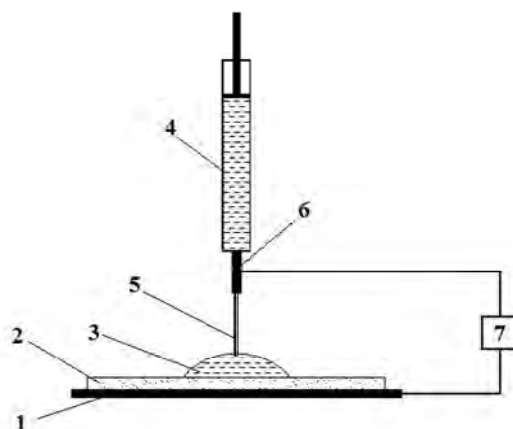
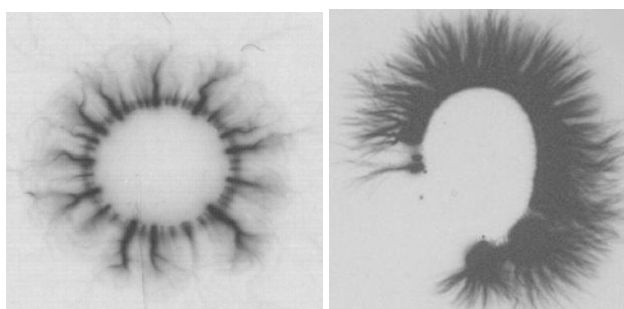


Рис. 1. Експериментальна установка для отримання зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів

При використанні аналогової форми реєстрації зображень газорозрядного випромінювання цифрові методи аналізу та параметризації зображень можуть бути застосовані після виконання процедури аналого-цифрового перетворення зображень, наприклад, за допомогою скануючого пристрою. Формування простору інформативних ознак зображень газорозрядного випромінювання необхідно здійснювати з урахуванням особливостей об'єктів досліджень. Якщо у якості об'єкту виступає зразок рідиннофазного середовища, то зареєстрована картина представляє собою фігуру округлої форми з рівномірно розподіленою навколо центру сукупністю розрядних стримерів (рис. 2, а). Якщо метод газорозрядного випромінювання застосовується з метою здійснення медичної діагностики, то об'єктом візуалізації виступають фаланги пальців людини (рис. 2, б).



а – природна вода

б – біологічний об'єкт

Рис. 2. Зображення газорозрядного випромінювання

При параметризації зображень газорозрядного випромінювання досліджувані зразки рідиннофазних об'єктів у даній прикладній задачі володіють такими специфічними властивостями:

а) зразкам рідиннофазних об'єктів притаманна округла форма (у вигляді краплі рідини);

б) зони, з яких складається загальна картина світіння, мають радіальну форму, що обумовлено фізичними процесами при розповсюдженні газового розряду навколо об'єкту досліджень;

в) внаслідок реєстрації зображень газорозрядного світіння на рентгенівській плівці кольорова гама фактично відсутня наряду з насиченою кольоро-яскравісною за своїми характеристиками текстурою фотографій, що є підставою для утворення напівтонових растрових зображень при перетворенні у цифрову форму;

г) колір та текстура усередині окремо взятої радіальної зони фактично однорідна.

Вказані особливості зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів дають підставу для обґрунтованого застосування у якості інформативних ознак інтегральних геометричних та фотометричних параметрів зображень.

Наприклад, з метою оцінки стану води вилучення інформативних ознак з зображень може бути проведено на основі побудови гістограми яскравості пікселів (рис. 3). Параметризація з виділенням інформативних ознак зображень на основі використання гістограми реалізується шляхом розрахунку кількості пікселів, які потрапили у певний інтервал яскравостей. Процедура класифікації за типами води, побудована на основі описаного вище способу вилучення інформативних ознак зображень детально описана у роботі [8].

При дослідженні властивостей рідиннофазних та біологічних об'єктів можуть застосовуватись також окремі інтегральні ознаки зображень газорозрядного випромінювання, такі як площа засвітки, фрактальна розмірність, середня ширина корони світіння, ентропія [9].

Метод отримання зображень газорозрядного світіння фаланг пальців людини застосовується у галузі медичної діагностики [10]. Спосіб дозволяє отримати діагностичну інформацію щодо функціонування різноманітних органів та систем організму. При цьому зображення повинні підлягати секторному аналізу. Кожний виділений сектор зображення відповідає окремим органам або системам організму. Таким чином, у випадку здійснення медичної діагностики процедура реалізації аналізу зображень ускладнюється, оскільки визначення інтегральних інформативних ознак виявляється недостатнім. Виділення інформативних ознак зображень газорозрядного випромінювання фаланг пальців повинно включати етап розподілу усього зображення на окремі сектори з подальшим посекторним аналізом локальних частин зображення.

При використанні усіх вказаних способів аналізу зображень метрологічне забезпечення параметризації інформативних ознак повинно включати оцінку невизначеності геометричних характеристик картини газорозрядного випромінювання. При аналоговій формі реєстрації картини газорозрядного випромінювання з подальшою оцифровкою отриманих зображень необхідно врахувати джерела невизначеності на протязі усього вимірювального тракту від сенсору у вигляді фотоматеріалу до обробки зображення у цифровій формі.

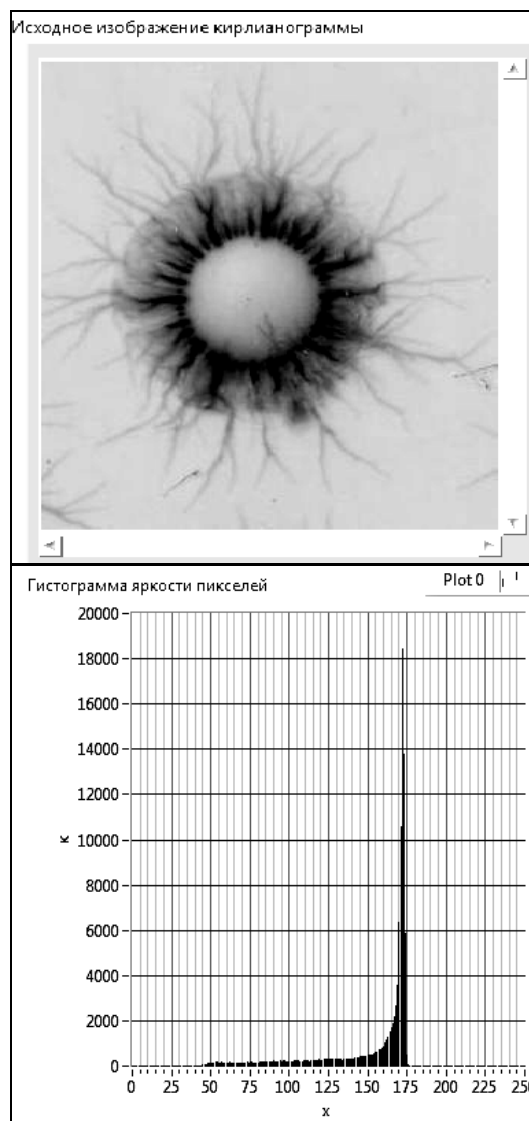


Рис. 3. Зображення газорозрядного випромінювання природної води та гістограма яскравості пікселів

Безпосередньо на початковому експериментальному етапі аналогової реєстрації зображень на рентгенівській плівці враховуються наступні фактори: властивості об'єкту, фізико-хімічні параметри зйомки, фільтрації, фокусування, відстань від об'єкту досліджень, рентгенографічний шум, умови та якість хімічної обробки, тощо.

Якість рентгенівського зображення залежить від роздільної здатності плівки. Її прийнято виражати числом паралельних ліній (штрихів), які можна сприйняти роздільно, на 1 см або на 1 мм. Типове значення роздільної здатності сучасних рентгенівських плівок досягає 20 ЛП/мм, де ЛП – пар ліній. Для високочутливої фотоплівки або рентгенівської показник досягає значення 100 ліній/мм. Якщо перерахувати ці величини у більш звичні для користувачів сучасної цифрової техніки одиниці dpi, то отримаємо наступні значення для звичайної плівки $20 \text{ ЛП/мм} = 40 \text{ ліній/мм}$, що при перетворенні до дюймів становить $40 \cdot 25,4 \Rightarrow 1016 \text{ dpi}$. Для високочутливої плівки отримаємо значення роздільної здатності $100 \text{ ліній/мм} \Rightarrow 2540 \text{ dpi}$.

Наступний етап обробки зображень газорозрядного випромінювання полягає в реалізації процедури аналого-цифрового перетворення шляхом сканування. Щоб переконатися у відповідності дійсної роздільної здатності сканування технічним характеристикам, заявленим виробником, необхідно виконати процедуру калібрування. Спираючись на визначення, надане у нормативній документації JCGM 200:2008 (VIM - International Vocabulary of Metrology) 2.39, індивідуальне співвідношення між кількістю пікселів та реальним геометричним розміром на зображенні визначається на базі калібрування.

З метою встановлення кількісного значення невизначеності вимірювань на базі процедури калібрування необхідно мати еталон або тестовий об'єкт з відповідними характеристиками. Зазвичай при експериментальному встановленні роздільної здатності або похибки відтворення геометричних розмірів у сканерах та відеокамерах застосовуються сітки, решітки, або відрізки певного розміру [11, 12], деталі виготовлення яких та характеристики точності авторами не розглядаються.

Калібрування сканеру у даній роботі проводилося на основі застосування шкали, що входить у комплект вимірювального мікроскопу Бріннеля МПБ-2 з ціною поділки шкали 0,05 мм та оцифрованою шкали через 1 мм. З метою отримання зображення шкали в процесі сканування на окулярі шкали зверху було розташовано дзеркало. Отримане зображення представлено на рис. 4.

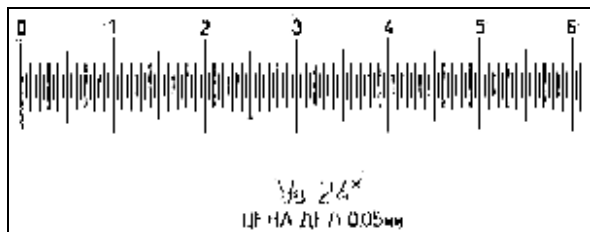


Рис. 4. Зображення шкали вимірювального мікроскопу Бріннеля МПБ-2 з ціною поділки шкали 0,05 мм після сканування

Шляхом багатократного сканування обраного еталонного зображення шкали мікроскопа встановлено, що між оцифрованими поділками шкали міститься 47 пікселів, тобто 47 пікселів/1 мм. При перетворенні до дюймів розраховане значення становить $47 \cdot 25,4 = 1198,5 \approx 1200$ dpi. Калібрування було проведено також при вертикальному розташуванні шкали, при цьому отриманий аналогічний за показниками точності результат.

Розглянемо джерела невизначеності, пов'язані з переходом від аналогової до цифрової форми представлення зображень газорозрядного випромінювання. Зрозуміло, що для аналогових зображень геометричні розміри можуть виражатися в мм у вигляді нескінченної десяткової дробі. Натомість для цифрових зображень перехід до пікселів вимагає

квантування геометричних відстаней, причому результат перетворення повинний бути представлений у вигляді цілого числа. Таким чином, одиницею молодшого розряду при аналого-цифровому перетворенні зображень виступає 1 піксель. Таким чином, внаслідок параметризації зображень при відліку геометричного розміру в результат вимірювань закладається невизначеність дискретизації у просторі. У випадку аналого-цифрового перетворення зображення на базі застосування скануючого пристрою перехід до дискрети представлення розміром в 1 піксель вимагає використання певних правил заокруглення, які закладено у принцип дії сканеру. У загальному випадку реальне положення вимірюваної величини в межах розміру пікселя слід розглядати як рівноймовірне. Тоді невизначеності дискретизації геометричних параметрів можна обґрунтовано приписати рівномірний закон розподілу.

Позначимо через τ одиницю молодшого розряду у відліку (для випадку сканеру це розмір пікселя), тоді рівномірний закон розподілу невизначеності дискретизації за просторовою координатою можна охарактеризувати математичним очікуванням $M_x = 0$ та границями $[-\tau/2; \tau/2]$. Останній висновок справедливий для випадку, коли відтворення геометричних розмірів у процесі сканування забезпечується шляхом заокруглення до ближнього розряду. Якщо вимірювана величина, що потрапила між двома дискретними відмітками (границями пікселів), відтворюється нижнім числовим значенням, тобто заокруглюється до меншого розряду, то невизначеність дискретизації завжди буде негативним числом та її слід описувати рівномірним законом розподілу з математичним очікуванням $M_x = -\tau/2$ та межами $[-\tau; 0]$. Третій, останній випадок, коли аналогова величина зводиться до верхнього можливого цілого значення пікселів, описується також рівномірним законом розподілу, але з математичним очікуванням $M_x = +\tau/2$ та межами $[0; \tau]$.

Для кожного з розглянутих випадків існує загальна формула, що пов'язує розмір пікселя з невизначеністю дискретизації за просторовою координатою:

$$u(\Delta) = \frac{\tau}{2\sqrt{3}},$$

де Δ - відхилення дійсного геометричного розміру величини від відмітки шкали в пікселях, до якої було заокруглено геометричний параметр.

Для наведеного вище прикладу калібрування сканеру з роздільною здатністю 1200 dpi в одному міліметрі теоретично повинно міститися 47,244 пікселя. Відповідно розмір пікселя становить 0,0212 мм або 21,2 мкм. Тоді невизначеність дискретизації геометричних розмірів, виражена у мкм становить:

$$u_{1200}(\Delta) = \frac{21,2}{2\sqrt{3}} = 6,1 \text{ мкм.}$$

Розширена невизначеність за умови прийняття гіпотези про рівномірний закон розподілу:

$$U_{1200} = u_{1200}(\Delta) \cdot K_0 = u_{1200}(\Delta) \cdot \sqrt{3} = 10,6 \text{ мкм.}$$

Згідно з отриманими даними на основі калібрування сканеру при 1200 dpi за допомогою шкали вимірювального мікроскопу Бріннеля МПБ-2 на відстані 6 мм (див. рис. 4) експериментально зафіксована кількість пікселів становила 285 пікселів (точно від початку оцифрованої поділки 0 до початку поділки 6). Теоретично ця кількість пікселів повинна бути $47,244 \cdot 6 \approx 284$. Проведення багатократних експериментів сканування шкали мікроскопу дозволило встановити, що на відстані 6 мм розташовується 284 або 285 пікселя, як для горизонтальної, так і для вертикальної орієнтації шкали. Таким чином, експериментально підтверджено, що невизначеність дискретизації за просторовою координатою не перевищує розміру дискретності, тобто пікселю.

Висновки

У роботі розглянуто існуючі проблеми виділення інформативних ознак зображень газорозрядного випромінювання. Запропоновано раціональні підходи щодо здійснення процедури параметризації зображень випромінювання рідиннофазних об'єктів, результатом яких є отримання набору ознак, що виявляються необхідним підґрунтям для класифікації за типами води.

Запропоновані методи параметризації підкріплюються метрологічним забезпеченням, що включає способи оцінки невизначеності вимірювань на етапі аналогової реєстрації зображень газорозрядного випромінювання, а також при реалізації процедури аналого-цифрового перетворення отриманих на фотоматеріалі картин світіння.

Список літератури

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

2. Махно Т.А. Параметризация схем обработки УЗИ сонных артерий при помощи эволюционных алгоритмов [Текст] / Т.А. Махно // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – №5. – С. 58-60.

3. Удовик И.М. Информационная технология обработки слабоконтрастных изображений на основе метода цифровой интерферометрии [Текст] / И.М. Удовик, Л.Г. Ахметшина. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – 111 с.

4. Zhang G. Brief review of invariant texture analysis methods / G. Zhang, T. Tan // Pattern Recognition. – 2002. – Vol. 35. – P. 735-747.

5. Кондратов В.Т. Визуализация в метрологии: уровни, направления, цели, задачи, методы и программное обеспечение [Текст] / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – №1. – 2011. – С. 7-21.

6. Бондарев В.М. Моноимпульсная плазмография. Регистрация тонкомерных образований и аномальных энергетических проявлений [Текст] / В.М. Бондарев // Тез. докл. 2-го междунар. конгр. «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». – СПб., 2000. – С. 195-196.

7. Бондарев В.М. Кириллан-фотография: цифровая и традиционная [Электронный ресурс] / В.М. Бондарев // Режим доступа: <http://www.vadimbo.narod.ru/GDV.htm>.

8. Глухова Н.В. Разработка системы экспрес-классификации воды на основе базы данных изображений газорозрядного випромінювання [Текст] / Н.В. Глухова, Л.А. Пісоцька, Н.Г. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Вип. 3(44). – Х.: ХУПС, 2015. – С. 112-118.

9. Глухова Н.В. Оцінка якості води з точки зору її біологічної активності [Текст] / Н.В. Глухова // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – № 2 (5). – 2014. – С. 46-52.

10. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии [Текст] / К.Г. Коротков. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.

11. Атавин Е.Г. Анализ метрологических характеристик сканера [Текст] / Е.Г. Атавин // Вестник Омского ун-та. – 2002. – № 2. – С. 35-40.

12. Дамдинова Т.Ц. Способы формирования цифровых изображений и анализ их погрешностей [Текст] / Т.Ц. Дамдинова // Вопросы кибербезопасности. – №5(8). – 2014. – С. 43-46.

Надійшла до редколегії 15.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Корсун, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.В. Глухова

Рассмотрены существующие проблемы, которые возникают при выделении информативных признаков изображений газоразрядного излучения жидкофазных и биологических объектов. Предложены методы параметризации изображений, которые заключаются в установлении интегральных и локальных признаков картин свечения объектов в импульсном электромагнитном поле высокой напряженности. Разработаны способы оценки неопределенности измерений на этапах аналоговой регистрации на рентгеновской пленке и реализации процедуры аналого-цифрового преобразования изображений.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, неопределенность измерений, газоразрядное излучение.

EVALUATION OF UNCERTAINTY OF INFORMATIVE FEATURES IMAGES OF GAS-DISCHARGE EMISSION

N.V. Glukhova

The problems that arise during allocation of informative features images of gas-discharge emission liquid-phase and biological objects are considered. Methods of parameterization images which consists in establishment of integrated and local features images of emission objects in pulsed electromagnetic field high tension are proposed. The techniques of uncertainty estimate at the stages of analog registration images on x-ray film and implementation procedures analog to digital conversion of images are developed.

Keywords: metrological support, measurement uncertainty, gas-discharge emission.