

УДК 556.11.012; 628.1.03

Н.В. Глухова

ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

## ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЕНТРОПІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ВИПРОМІНЮВАННЯ ВОДИ

Наведено результати оцінки невизначеності при розрахунках значення ентропії зображень газорозрядного випромінювання зразків води. Об'єктом дослідження є експериментальна база даних зображень світіння зразків озерної води. Зображення отримано при зовнішньому впливі на краплі води імпульсного електромагнітного поля високої напруженості. З метою параметризації зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазного об'єкту було розраховано оцінки ентропії для вибірки зображень води з одного джерела. Виконаний статистичний аналіз результатів розрахунку ентропії, отримано гістограми розподілу значень ентропії, реалізована оцінка невизначеності за типом А.

**Ключові слова:** рідиннофазний об'єкт, газорозрядне випромінювання, невизначеність вимірювань.

### Вступ

Проблема вивчення властивостей води привертає до себе увагу вчених з різних галузей науки вже протягом декількох десятиліть. В останній час одним з пріоритетних напрямків виявляється вивчення структурних особливостей рідкої фази води. Значна увага приділяється цьому питанню завдяки суттєвим досягненням квантової електродинаміки, на основі наукових здобутків якої стало можливим пояснення багатьох аномальних властивостей води.

У зв'язку з чим виявляється актуальним питання розробки нових та вдосконалення існуючих експериментальних методів дослідження структури води. Одним з відносно нових та слабо розроблених підходів є метод, заснований на отриманні зображень газорозрядного світіння рідиннофазних об'єктів в електромагнітному полі високої напруженості.

На сьогоднішній день у напрямку дослідження властивостей рідиннофазних об'єктів рядом вчених виконуються роботи експериментального та теоретичного характеру. Зроблено спроби дослідження властивостей рідини на основі аналізу характеристик розподілу газового розряду навколо крапель [1].

У роботі [2] шляхом обробки експериментальних даних встановлений взаємозв'язок параметрів газорозрядного випромінювання (ГРВ) з в'язкістю та поверхневим натягом рідини. При аналізі кореляції в'язкості розчину та параметрів динамічних ГРВ-грам у якості матеріалів для виконання вимірювального експерименту було обрано послідовні розбавлення гліцерину у дистильованій воді. З метою вивчення кореляції поверхневого натягу з характеристиками газового випромінювання використано розбавлення поліоексу.

В результаті вимірювального експерименту встановлено:

1) лінійна залежність поверхневого натягу та площі засвітки на зображенні краплі;

2) поліноміальна залежність другого порядку максимальної ентропії часового ряду площі засвітки від концентрації розчину.

З метрологічної точки зору важливим питанням практичного застосування методу вимірювань, заснованому на отриманні зображень газорозрядного випромінювання об'єктів в імпульсному електромагнітному полі, є достовірність та відтворюваність результатів, а також можливість встановлення статистично значимих різниць між досліджуваними об'єктами, що мають різні параметри.

Аналіз систематичних похибок та дослідження відтворюваності даних у методі ГРВ зроблений авторами роботи [3]. Підходи щодо оцінки похибок методу газорозрядного випромінювання біологічних об'єктів представлені у роботах [4, 5]. Підвищенню достовірності методу ГРВ при дослідженні рідиннофазних об'єктів присвячено роботу [6].

У роботі [7] підкреслюється, що коронний газовий розряд навколо крапель досліджуваної рідини володіє високими характеристиками відтворюваності та дозволяє виявити статистично суттєві ефекти для сильно розбавлених стандартних та гомеопатичних розведень речовин. Також дослідники відзначають унікальність методу дослідження рідини методом газорозрядного випромінювання (електрофотографії). Вони стверджують, що при застосуванні стандартних методів аналізу речовин різниця в результатах досліджень зникає при розведеннях  $10^{-5}$ . У той же час, за умов використання електрофотографії певні суттєві ефекти зберігаються навіть при такому високому ступені розведення, як  $10^{-24}$ .

**Метою роботи** є оцінка невизначеності за типом А, яка виникає при здійсненні параметризації зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів.

## Основна частина

Метод дослідження властивостей рідиннофазних об'єктів, заснований на отриманні зображень їх випромінювання в імпульсному електромагнітному полі високої напруженості, з точки зору метрології є досить специфічним. Особливість полягає, насамперед, у тому, що результат вимірювання представляє собою не кількісну інформацію у вигляді оцінки параметрів об'єкту, а візуальну інформацію – зображення світіння. Це обумовило певні обмеження застосування методу на практиці та призвело до формування декількох різних напрямів аналізу даних вимірювань.

Першою спробою оцінки стану об'єктів, для яких зареєстровано картину газорозрядного світіння, була візуальна експертна оцінка електрофотографій. В подальшому з метою встановлення кількісних ознак геометрії та яскравісних характеристик розповсюдження газових розрядів було запропоновано різні методи та відповідні алгоритми параметризації зображень.

Найчастіше для зображень розраховують наступні інтегральні параметри: площа засвітки, коефіцієнт форми, фрактальність, ентропія. Під інтегральними параметрами в цьому контексті розуміється розрахунок однієї певної ознаки зображення газорозрядного світіння об'єкта, що виражається у вигляді одного числа.

З усіх вказаних параметрів саме ентропія є мірою інформаційного різноманіття та може слугувати базовим параметром для встановлення достовірності, відтворюваності та метрологічних характеристик результатів вимірювань. У залежності від конкретного стану об'єкту, його зображення містить різноманіття деталей або даних, які можливо витягти у ході аналізу. Кількісною оцінкою такого роду властивостей виступає ентропія, яка є одним з фундаментальних понять теорії інформації.

В ході цифрової обробки зображень використовується визначення зображення як двовимірної функції  $f(x,y)$ , де  $x$  та  $y$  – координати у просторі. Значення  $f$  у певній точці, яка характеризується парою координат  $(x,y)$ , називається інтенсивністю або яскравістю зображення.

Інтенсивність світіння у випадку напівтонового зображення для довільної точки з координатами  $(x_0, y_0)$  називається рівнем сірого  $l$  або яскравістю зображення  $l = f(x_0, y_0)$ , значення якого лежить у певному обмеженому інтервалі  $L_{\min} \leq l \leq L_{\max}$ . Діапазон  $[L_{\min}, L_{\max}]$  називається інтервалом яскравостей, який для зручності здвигають уздовж числової осі у межі  $[0, L-1]$ . Стандартно для пакетів комп'ютерної обробки зображень ліва межа приймається за рівень чорного кольору  $l=0$ , тоді рівень білого обчислюється як  $l = L-1$ .

Цифрове зображення зберігається у пам'яті ЕОМ у вигляді матриці чисел, тобто реалізується перетворення  $f(x,y) \rightarrow A_{M \times N}$ , де  $M$  – кількість рядків,  $N$  – кількість стовпчиків, а в якості початку координат  $(x,y) = (0,0)$  приймається лівий верхній кут зображення.

Тоді функція яскравості пікселів набуває наступної форми:

$$F = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}.$$

Замінімо матрицю  $F$  розміром  $M \times N$ , яка складається з квантованих відліків яскравості зображення, на вектор-стовпчик  $f$  розміром  $Q \times 1$ , де  $Q = M \times N$ .

Розглянемо два крайні випадки:

- 1) темне зображення з мінімальною яскравістю усіх елементів;
- 2) зображення, що характеризується максимальною яскравістю.

Далі можна зробити логічний висновок: усі інші можливі варіанти напівтонових зображень знаходяться між розглянутими граничними випадками. При наявності реального фізичного джерела формування зображення слід вважати, що окремі фрагменти у вигляді векторів-стовпчиків утворюються як зображення на виході певного джерела з варіаціями яскравості. За умови квантування яскравості кожного з  $M \times N$  елементів напівтонового зображення на  $L$  рівнів, джерело може утворити  $T = L^Q$  різних зображень. Тоді існує певний апріорний розподіл  $P(f_t)$ ,  $t = 1 \dots T$  ймовірності появи кожної з можливих реалізацій вектора  $f$ . Таким чином, за умови векторного опису зображення середня кількість інформації в зображенні дорівнює ентропії джерела (згідно визначенню Шеннона):

$$H(f) = - \sum_{t=1}^T P(f_t) \log P(f_t).$$

Кількісне значення ентропії може слугувати підставою для визначення властивостей джерела зображень, зокрема його стаціонарності та ергодичності.

Відомо, що при отриманні зображень газорозрядного випромінювання об'єктів, має місце постійний потік зовнішніх неінформативних впливаючих величин. Суттєві коливання значення ентропії для зображень, зареєстрованих у такий спосіб, можуть слугувати підставою для визнання недостовірності отриманих результатів.

Розглянемо приклад цифрової обробки зображень газорозрядного випромінювання зразків води з озера Байкал (рис. 1).

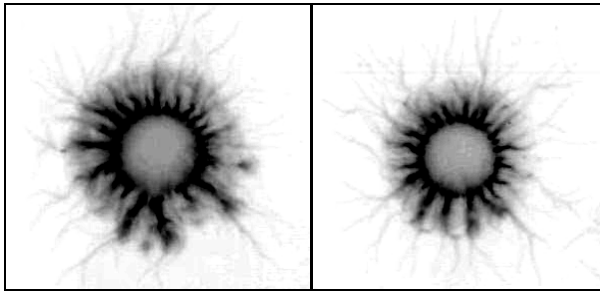


Рис. 1. Зображення газорозрядного випромінювання води

Для аналізу зображень газорозрядного випромінювання розроблено прикладне програмне забезпечення, яке дозволяє перегляд окремих електрофотографій, побудову гістограми та профілю яскравості окремих зображень, розрахунок ентропії окремих картин світіння та статистичний аналіз вибірки зображень.

Для вибірки зображень газорозрядного випромінювання води оз. Байкал розрахована середня величина ентропії становить  $\bar{x} = 4,69$ ; значення стандартної невизначеності за типом А складає

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,32$$

або 7% у відносній формі. Для задач обробки зображень результат цілком задовільний.

## Висновки

У роботі представлено результати розрахунку стандартної невизначеності для значень ентропії зображень газорозрядного випромінювання. На основі кількісної оцінки невизначеності за типом А для вибірки зображень встановлено достовірність та

відтворюваність результатів методу вимірювань, який заснований на отриманні та подальшій обробці зображень.

## Список літератури

1. Korotkov K. Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids / K. Korotkov, E. Krizhanovsky, M. Borisova, D. Korotkin et al. // *J. Appl. Phys.* – 2004. – No. 95. – P. 3334-3338.
2. Короткин А.И. Связь параметров ГРВ-Грамм с вязкостью и поверхностным натяжением жидкости / А.И. Короткин, Э.В. Крыжаноский, М.Б. Борисова, С.А. Короткина // *Сознание и физическая реальность.* – 01/2006. – Том 11 N1. – С.49-51.
3. Анализ систематических погрешностей и воспроизводимости данных в методе ГРВ / Р.А. Александрова и др. // *Тезисы 4-го международного конгресса по биоэлектрографии.* – 2000. – С. 3-5.
4. Борисова М.В. Оценка погрешности экспериментальных результатов при исследовании методом ГРВ биоэлектрографии / М.В. Борисова, Э.В. Крыжаноский, В.Л. Ткалич // *Приборостроение.* – 2006. – Том 49. – № 2. – С. 30-31.
5. Коломієць Р.О. Аналіз похибок оптичних систем та дискретизації зображення при реєстрації ГРВ зображень сукупної польової структури біологічних об'єктів в статистичній / Р.О. Коломієць, В.П. Манойлов, В.А. Рудницький // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.* – 2007. – № 1. – С. 25-29.
6. Білінський Й.Й. Дослідження характеристик газорозрядної візуалізації зображень рідиннофазних об'єктів / Й.Й. Білінський, О.А. Павлюк, Б.П. Книш // *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* – 2011. – № 5. – С. 178-183.
7. Thirumaal A. Kirlian Photography ... a novel concept / A. Thirumaal // *Homoeo Times.* – 2005. – December. – Vol. 2. – P.14-22.

Надійшла до редколегії 6.04.2015

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

## ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЭНТРОПИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОДЫ

Н.В. Глухова

Приведены результаты оценки неопределенности при расчетах значения энтропии изображений газоразрядного излучения образцов воды. Объектом исследований является экспериментальная база данных изображений свечения образцов озерной воды. Изображения получены при внешнем воздействии на капли воды импульсного электромагнитного поля высокой напряженности. С целью параметризации изображений газоразрядного излучения жидкофазного объекта сделан расчет значений энтропий для выборки изображений воды из одного источника. Выполнен статистический анализ результатов расчета энтропии, получены гистограммы распределения значений энтропии, реализована оценка неопределенности по типу А.

**Ключевые слова:** жидкофазный объект, газоразрядное излучение, неопределенность измерений.

## UNCERTAINTY EVALUATION OF ENTROPY OF WATER RADIATION IMAGES

N.V. Glukhova

The results of uncertainty evaluation in the calculation of entropy values of gas-discharge radiation images of water samples are shown. Object of researches is experimental database of images of lake water samples glow. Images were obtained at external influence on the water droplets of pulsed high intensity electromagnetic field. With the purpose of parameterization of images of gas-discharge radiation of liquid phase object the calculation of values of entropies for image sampling of water from the same source was made. A statistical analysis of the results of calculation of entropy is made, distribution histograms of entropy values were obtained, uncertainty estimation by the type A is implemented.

**Keywords:** liquid-phase object, of gas-discharge radiation, measurement uncertainty.