

$$\sigma = \frac{\varphi E r k'}{4\delta} \left(\frac{t_{c1}}{L_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360} \right)} - \frac{t_{c2}}{L_{c2} \left(1 + \frac{\varphi}{360} \right)} \right) \leq [\sigma], \quad (28)$$

де k' - коефіцієнт кривизни витків; $[\sigma]$ - допустиме напруження згину.

Кут закручування гнучкого вала пов'язаний із зміною величини зазору між спіралями лінійною залежністю згідно якої встановлено, що для валів з початковим значенням зазору $\delta_0 = 0,005$ м оптимальний кут закручування знаходиться в межах $\varphi = 40..43^\circ$, для $\delta_0 = 0,01$ м - $\varphi = 53..55^\circ$ і для $\delta_0 = 0,015$ м кут закручування $\varphi = 63..65^\circ$. Аналізом отриманої залежності виявлено, що при однакових параметрах навантаження і пружних характеристиках спіралей дане співвідношення справджується і для більших значень зазору.

Функція $C = f(\varphi)$ свідчить про лінійне збільшення початкового значення жорсткості пружного гвинтового елемента паралельно із збільшенням кута закручування вала. Зокрема при менших значеннях зазору ($\delta = 0,005$ м) жорсткість пружного елемента в 1,9...3 рази більша ніж для більших значень зазорів ($\delta = 0,01..0,015$ м) при однакових кутах закручування гнучкого вала, що пояснюється ширшим діапазоном пружної деформації спіралей без їх контакту.

Інформаційні джерела

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин./ В.Т. Павлище// - К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
2. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам./ О.А. Ряховский, С.С. Иванов// - Л.: Политехника, 1991. – 384 с.
3. Иванов М.Н. Детали машин./ М.Н. Иванов// – М.: Высшая школа 1991. – 383с.
4. Решетов Д.Н. Детали машин./ Д.Н. Решетов //– М.: Машиностроение, 1989. 496 с.
5. Овчаренков Б.З. та інші Розрахунки і проектування деталей машин. Харків 2008. 316с.
6. Патент №10250 Україна. Гвинтовий конвеєр з гнучким приводним валом . Гевко Б.М. та інші Бюл. №11, 2005.

УДК 546.212

Н.В. Глухова, к.т.н

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

СТАТИСТИЧНИЙ ТА СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ КІРЛІАНОГРАМ

Для оцінки інтегральних характеристик рідиннофазних об'єктів використовується метод отримання зображень шляхом фіксації газорозрядного випромінювання зразка в електромагнітному полі високої напруженості (ефект Кірліан). Результатом реєстрації картини світіння є зображення на фотоматеріалі (кірліанограма). З метою виявлення характерних ознак та класифікації груп досліджуваних зразків рідиннофазних об'єктів пропонуються методики статистичного та спектрального аналізу отриманих експериментальним шляхом кірліанограм. Спектральний аналіз зображень газорозрядного випромінювання реалізований з використанням вейвлет-перетворення. Обраний підхід забезпечує вивчення кірліанограм з різними рівнями деталізації.

Ключові слова: газорозрядна візуалізація, ефект Кірліан, рідиннофазний об'єкт, статистичний аналіз, спектральний аналіз, вейвлет.

Для оценки интегральных характеристик жидкофазных объектов используется метод получения изображений путем фиксации газоразрядного излучения образца в электромагнитном поле высокой напряженности (эффект Кирлиан). Результатом регистрации картины свечения является изображение на фотоматериале (кирлианограмма). С целью выявления характерных особенностей и классификации групп исследуемых образцов жидкофазных объектов предложены методики статистического и спектрального анализа полученных экспериментальным путем кирлианограмм. Спектральный анализ изображений газоразрядного излучения реализован с использованием вейвлет-преобразования. Выбранный подход обеспечивает изучение кирлианограмм с разными уровнями детализации.

Ключевые слова: газоразрядная визуализация, эффект Кирлиан, жидкофазный объект, статистический анализ, спектральный анализ, вейвлет.

Method of obtaining images by fixing the gas-discharge radiation specimen in the electromagnetic field of high tension (Kirlian effect) is used to evaluate the integral characteristics of liquid-phase objects. The result of the pattern glow registration is the image on the photo material (kirlianograms). With view to identify typical features and classification of groups investigated specimens of liquid phase objects proposed methods of statistical and spectral analysis of experimentally obtained by kirlianograms. Spectral analysis of a gas discharge radiation images realized using the wavelet transform. The chosen approach provides the study of kirlianograms with different specification levels.

Keywords: *gas-discharge visualization, Kirlian effect, liquid phase object, statistical analysis, spectral analysis, wavelet.*

Актуальність. Аналіз традиційних та нових методів вимірювань у різних галузях вказує на перспективність розвитку методів, що передбачають отримання, обробку та аналіз результатів експериментальних досліджень у вигляді візуальної інформації – графіків та зображень. Відомо, що такі методи успішно застосовуються для розв’язання великого спектру задач у багатьох галузях науки та техніки. Візуалізація при вимірюванні параметрів, контролі стану та діагностиці об’єктів і процесів різноманітної фізичної природи часто виявляється ефективною альтернативою класичним методам вимірювань з оцінкою кількісних значень окремих параметрів, а, іноді, навіть єдиним способом розв’язання завдань вимірювань та контролю.

Використання результатів вимірювань у вигляді візуальної інформації дозволяє контролювати такі параметри, які не піддаються вивченню традиційними методами або контролюються частково [1, 2]. Тому науковий розвиток методів і засобів вимірювань з отриманням візуальних зображень та їх подальше впровадження у прикладних галузях при дослідженні статичних і динамічних станів об’єктів живої та неживої природи, різноманітних процесів та речовин є актуальною науковою задачею.

Одним з можливих варіантів методів експрес-аналізу стану водного середовища, що отримує в останній час широке розповсюдження та визнання, є метод, заснований на дослідженні зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об’єктів (ефект Кірліан). Останні дослідження у галузі вивчення властивостей води демонструють, що за рахунок перебудови її структурних елементів, їй притаманні постійні динамічні зміни, які іменують енергоінформаційними процесами. Як правило, класичні методи фізико-хімічного аналізу властивостей води неспроможні до виявлення такого роду процесів.

Метою досліджень є параметризація характерних ознак газорозрядного випромінювання зразків води з різними фізико-хімічними властивостями. На основі виділення певних параметрів кірліанограм будується множина кількісних характеристик, що надалі може бути ефективно використана у якості вихідних даних для статистичного аналізу зображень газорозрядного випромінювання.

Основна частина. При розташуванні дослідного об’єкта в електричному полі у розрядному проміжку між одним з електродів та поверхнею об’єкта виникає розряд. Таким чином, об’єкт виступає частиною електричного ланцюга протікання струму, а зафіксоване зображення газорозрядного випромінювання містить інтегральну інформацію про стан об’єкта [3].

Під час взаємодії досліджуваного об’єкта з електромагнітним полем через об’єкт протікає електричний струм, за рахунок протікання якого через газовий прошарок виникає іонізація оточуючого газу, що супроводжується світінням. Зареєстроване на фотоматеріалі зображення газорозрядного світіння обумовлено як властивостями рідини, так і властивостями оточуючого середовища – газового проміжку.

Відомо, що електричним струмам у газах притаманні різноманітні властивості: вони розрізняються не тільки за величиною та тривалістю, але й за фізичною природою процесів, що відбуваються [4]. Причина появи широкого різноманіття фізичних явищ у газах під час протікання електричного струму обумовлюється електричною провідністю газів, що забезпечують вільними носіями зарядів. Наявність зовнішнього електричного поля викликає несамотійний електричний струм у газі. Для підтримки несамотійного струму необхідно введення у газ зовнішнього іонізуючого фактора, яким у випадку газорозрядної візуалізації виступають електроди. За рахунок подачі на електроди генератора різниці потенціалів між ними виникає електричне поле. Наявність зовнішнього впливу підтримує у газовому прошарку несамотійну провідність, наявність якої є першою умовою існування електричного струму у газовому середовищі.

Розряд у вузькому зазорі між двома діелектричними обкладинками існує у вигляді окремих лавин, що розповсюджуються від випадкових точок діелектричної поверхні. Лавини мають направленість від діелектрика, що вкриває катод, до анода. Існування лавинного розряду приводить до зростання заряду діелектрика з боку анода та появи електричного поля зарядної плями, що

направлено протилежно зовнішньому електричному полю. Розряд загасає, коли сумарна напруженість електричного поля виходить за межу нижньої границі пробивного значення. Для виникнення наступного розряду необхідна зміна полярності напруги або після витoku заряду з діелектрика. Картина розряду фіксується на фотоматеріалі.

У результаті сканування Кірліан-фотографій зразків рідиннофазних об'єктів отримуємо полутонове растрове зображення у цифровій формі представлення. Градації сірого кольору, які характеризують яскравість випромінювання окремих пікселів, зберігаються у вигляді двовимірного масиву. Для вихідних зображень структури газорозрядного випромінювання будують гістограму яскравості пікселів.

При створенні експериментальної бази даних дослідженню методом газорозрядного випромінювання підлягали 4 типи води: дистильована, водопровідна, природна, монастирська. Для кожного типу води отримано вибірки експериментальних даних у вигляді зображень газорозрядного випромінювання зразків. Обсяг вибірок складав не менш, ніж 200 .

Алгоритм статистичної обробки результатів будуватиметься на виконанні морфологічного аналізу, який передбачає виділення окремих операцій параметризації цифрових зображень та обробки даних. Оскільки при використанні методів вимірювань, основаних на ефекті Кірліан, та їх апаратних реалізацій у вигляді певних конструктивних рішень основним результатом вимірювань є зображення, то ключовим моментом обробки результатів виявляється параметризація цифрових зображень. Побудовані гістограми розподілу значень яскравості у межах вибірок дозволили зробити висновок, що закон розподілу випадкових складових відрізняється від нормального, тому для обчислення усереднених значень яскравості пікселів у межах певних інтервалів розбиття, оцінюються значення не середніх арифметичних, а медіан.

Статистичний аналіз кірліанограм дозволяє оцінити інтегральні характеристики кірліанограм. З метою вивчення більш «тонких» особливостей розповсюдження картини світіння на фотоматеріалі використовується спектральний аналіз на базі вейвлет-перетворення.

На сучасному етапі розвитку цифрової обробки даних вейвлет-аналіз зарекомендував себе як один з найпотужніших та гнучких засобів дослідження властивостей сигналів та зображень. У порівнянні з традиційними методами обробки сигналів та зображень із застосуванням перетворення Фур'є, вейвлет-аналіз у багатьох прикладних галузях демонструє більш високу інформативність результатів, гнучкість алгоритмів, можливість обробляти тонкі особливості сигналів та зображень, недоступні для виявлення та ідентифікації при класичних методах обробки. Традиційні методи аналізу, наприклад, спектральна щільність потужності або амплітудні спектри, виявляються неефективними, оскільки спираючись на них неможливо виконання абсолютних кількісних порівнянь сигналів різних типів або порівнювати функції у часовій та частотній областях, часові та спектральні представлення мають різні фізичні розмірності.

Внаслідок забезпечення можливості виділення локальних особливостей дослідного сигналу або зображення вейвлети знаходять широке розповсюдження. Підхід на основі використання вейвлетів ефективний при дослідженні функцій та сигналів, нестационарних за часом або неоднорідних у просторі, коли результати аналізу повинні містити не тільки частотну характеристику сигналу, але й інформацію щодо локальних координат, у яких проявляються певні частотні складові з характерними швидкими змінами частотних складових сигналів. Вейвлети виявляються математичним засобом ієрархічного представлення сигналів та зображень, засновані на описі довільної функціональної залежності шляхом грубого усередненого наближення та одночасної побудови деталей з різними масштабами.

Для одновимірного випадку функціональної залежності будь-яка інтегруєма функція може бути представлена у вигляді лінійної комбінації ортогональних функцій, яка аналітично описується рядом:

$$f(x) = \sum_i c_i \varphi_i(x), \quad (1)$$

де φ - базисна функція; c_i - вагові коефіцієнти.

Вагові коефіцієнти розраховуються при використанні співвідношення:

$$c_n = \frac{1}{\|\varphi_n\|^2} \int_{t_1}^{t_2} f(x) \varphi_n(x) dx, \quad (2)$$

де $\|\varphi_n\|^2 = \int_{t_1}^{t_2} \varphi_n^2(t) dt$ - квадрат норми, або енергія базисної функції $\varphi(t)$.

Використання при кратномасштабному аналізі спеціальних масштабуючих функцій забезпечує побудову послідовності наближень для кірліанограми або побудованого для неї профіля яскравості таким чином, що кожне наступне наближення відрізняється від попереднього масштабним фактором 2.

Припустимо, що базовий нижній рівень J має розміри $2^J \times 2^J$ або $N \times N$, де $J = \log_2 N$, тоді будь-який проміжний рівень j отримає розмір $2^j \times 2^j$, де $0 \leq j \leq J$. Піраміда з повним заповненням буде складатися з $(J+1)$ рівнів, спускаючись від $2^J \times 2^J$ до $2^0 \times 2^0$. При розв'язанні багатьох прикладних задач використовуються усічені піраміди, коли обмежуються P наближеннями вихідного зображення зі зменшеними масштабами з кількістю використаних рівнів $(P+1)$, де $j = J - P, \dots, J - 2, J - 1, J$ та $1 \leq P \leq J$. Тоді повне число елементів на $(P+1)$ рівні складає

$$N^2 \left(1 + \frac{1}{4^1} + \frac{1}{4^2} + \dots + \frac{1}{4^P}\right) \leq \frac{4}{3} N^2, \quad (3)$$

де $P > 0$. При формуванні зображень різних рівнів виконується ітеративна процедура, яка полягає в обчисленні наближення зменшеного масштабу для вхідного зображення шляхом фільтрації та проріджування.

Інструментарій кратномасштабного перетворення включає до себе перетворення Хаара. Якщо у якості вхідних даних для перетворення використовується цифрове зображення, то аналітично у матричній формі операція може бути описана наступним чином [5]:

$$T = HFH^T, \quad (4)$$

де F - матриця цифрового зображення; H - матриця перетворення Хаара; T - результат перетворення. Усі матриці мають розмір $N \times N$. Матриця Хаара складається з базисних функцій Хаара $h_k(z)$, область визначення яких є неперервним замкненим інтервалом $z \in [0, 1]$, $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, $N = 2^n$. При побудові базисних функцій обирається будь-який індекс k з вказаної множини, для якого визначаються індекси P та Q такі, що задовольняють умовам $0 \leq p \leq (n-1)$ та $q = 0, 1$ для $p = 0$ та $1 \leq q \leq 2^p$ для $p \neq 0$ таким чином, щоб виконувалася рівність $k = 2^p + q - 1$. Далі визначаються базисні функції Хаара:

$$h_0(z) = h_{00}(z) = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad z \in [0, 1] \quad (5)$$

$$h_k(z) = h_{pq}(z) = \frac{2^{p/2}}{\sqrt{N}} \begin{cases} 1 & \text{для } \frac{q-1}{2^p} \leq z < \frac{q-0,5}{2^p}; \\ -1 & \text{для } \frac{q-0,5}{2^p} \leq z < \frac{q}{2^p}; \\ 0 & \text{в інших випадках, } z \in [0, 1]. \end{cases} \quad (6)$$

Вейвлет-аналіз цифрових зображень газорозрядного світіння (рис. 1,а та 2,а) застосовується до функціональної залежності, яка представляє собою профіль яскравості пікселів уздовж прямої лінії. Для максимального ступеня охоплення деталей зображення – корони світіння, стримерів, внутрішнього кола – побудова профілю яскравості реалізована від верхнього кута зображення $f(0,0)$ до нижнього $f(M-1, N-1)$. На графіку профілю яскравості (рис.1, б та 2, б) по осі абсцис позначено координату, по осі ординат – значення яскравості пікселів уздовж обраного напрямку профілю.

Порівняльний аналіз рис.1 та рис.2 наявно демонструє відмінності у зображеннях газорозрядного світіння води водопровідної та природної. У водопровідної води корона світіння вузька з нечіткими «розмитими» стримерами. Для природної води характерна більш широка подвійна корона з явно вираженими «гіллястими» стримерами.

Висновки. Розкладання вихідної послідовності на окремі складові при вейвлет-перетворенні ефективно використовується для виділення характерних ознак зображень. При апроксимації сигналу (рис. 1 та 2, в, д) спостерігаються загальні зміни яскравості пікселів уздовж діагоналі. Параметризація на цьому етапі можлива завдяки кількісній оцінці ширини корони світіння на основі аналізу зміни яскравості пікселів.

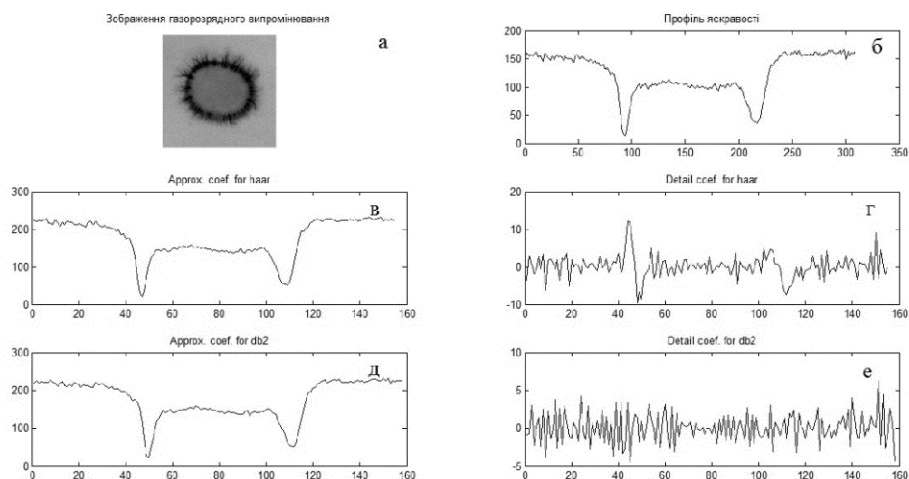


Рис. 1. Вейвлет-аналіз профілю яскравості зображення газорозрядного випромінювання зразка водопровідної води: а – вихідна кірліанограма; б – профіль яскравості; в, г – вейвлет-розкладання на основі вейвлету Хаара; д, е – вейвлет-розкладання на основі вейвлету Добеши

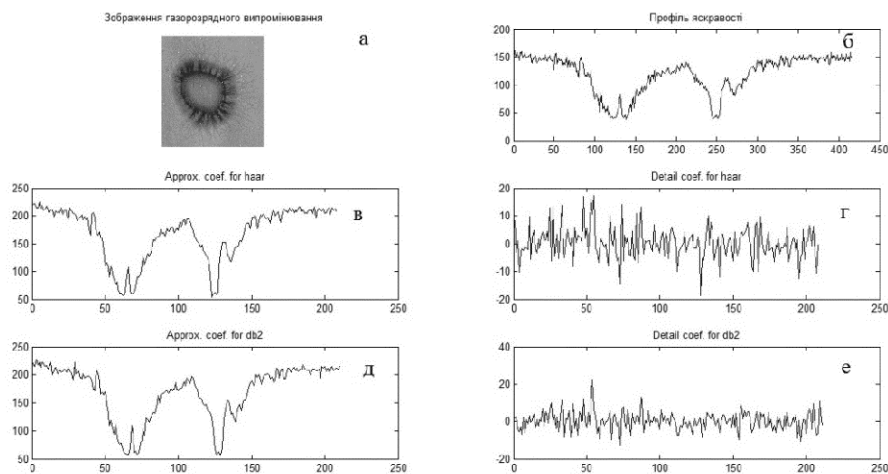


Рис. 2. Вейвлет-аналіз профілю яскравості зображення газорозрядного випромінювання зразка природної води з джерела «Софіївка»: а – вихідна кірліанограма; б – профіль яскравості; в, г – вейвлет-розкладання на основі вейвлету Хаара; д, е – вейвлет-розкладання на основі вейвлету Добеши

Для водопровідної води достатньо «гострі» мінімуми на цих графіках вказують на вузьку розмиту корону. Локалізація особливостей цифрового зображення газорозрядного випромінювання, яка проявляється як «гіллястість» корони світіння, ефективно досліджується при підвищенні рівня деталізації (рис.1 та 2, г, е). Для природної води у порівнянні з водопровідною характерно зростання як частот, так і амплітуд високочастотної складової функції, що описує зміну яскравостей за обраним профілем. Вейвлет-аналіз забезпечує виділення з кривої профілю яскравості пікселів компонентів різних масштабів так, що кожний окремих елемент можна аналізувати з тим ступенем детальності, який відповідає його масштабу. Завдяки цим властивостям підвищується достовірність аналізу зображень газорозрядного світіння рідиннофазних об'єктів, знижується роль суб'єктивних вкладів при експертному аналізі.

Інформаційні джерела

1. Emilio Del Giudice, Paola Rosa Spinetti, Alberto Tedeshi. Water Dynamics at the Root of Metamorphosis in Laving Organism // *Water* #2, p. 566-586. – 2010. www.mdpi.com/journal/water.
2. Emilio Del Giudice. QED Coherence in Liquid Water and the Dynamics of the Organization of Water in Laving Matter. 18-21 october 2007. INFN – Milano – Italy and IIB – Neuss – Germany. Second Annual Conference on The Physics Chemistry and Biology of Water Mt. Snow, Vermont, USA.
3. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А., Горова А.І. Спосіб експрес-оцінки рідиннофазного об'єкта // Пат. 86701 Україна: МПК G-1N 21/17. Заявлено 25.06.2013; опубл. 10.01.2014.
4. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. М.: Наука. - 1971. – 543 с.
5. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.