

УДК 546.212

## МЕТОД ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ВИПРОМІНЮВАННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТІВ

**Н. В. Глухова**

Національний гірничий університет

просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49027, Україна. E-mail: GINaVi@ukr.net

Проведено аналіз існуючих методів теоретичного опису та експериментальних досліджень структурних особливостей води. Викладено засади сучасного стану представлень з точки зору теорії квантової електродинаміки на структуру води у вигляді сукупності когерентних доменів. Запропоновано метод дослідження структурних особливостей різних типів води. Метод ґрунтується на реєстрації зображень газорозрядного випромінювання крапель води в електромагнітному полі високої напруженості. Специфічні ознаки розповсюдження газових розрядів уздовж поверхні рентгенівської плівки виділяються в ході цифрової обробки зображень. Для кількісного аналізу геометрії та яскравісних характеристик розрядів запропоновано метод обробки на основі вейвлет-пакетів. Застосування вейвлет-розкладання забезпечує ефективну процедуру кратномасштабного аналізу зображень газорозрядного випромінювання. Результатом аналізу є отримання дерева розкладання, що дозволяє оцінити вейвлет-коефіцієнти розкладання профілю яскравості зображення на різних масштабах. Практична значущість та достовірність отриманих результатів обробки зображень підтверджується наведеними у роботі прикладами аналізу експериментальних даних для різних типів води.

**Ключові слова:** газорозрядне випромінювання, вейвлет-аналіз.

## МЕТОД ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТОВ

**Н. В. Глухова**

Национальный горный университет

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49027, Украина. E-mail: GINaVi@ukr.net

Выполнен анализ существующих методов теоретического описания и экспериментальных исследований структурных особенностей воды. Изложены основы современного состояния представлений с точки зрения квантовой электродинамики на структуру воды в виде совокупности когерентных доменов. Предложен метод исследования структурных особенностей разных типов воды. Метод основан на регистрации изображений газоразрядного излучения капель воды в электромагнитном поле высокой напряженности. Специфические признаки распространения газовых разрядов вдоль поверхности рентгеновской пленки выделяются в ходе цифровой обработки изображений. Для количественного анализа геометрии и яркостных характеристик разрядов предложен метод обработки на основе вейвлет-пакетов. Использование вейвлет-разложения обеспечивает эффективную процедуру кратномасштабного анализа изображений газоразрядного излучения. Результатом анализа является получение дерева разложения, которое позволяет оценить вейвлет-коэффициенты разложения профиля яркости изображения на разных масштабах. Практическая значимость и достоверность полученных результатов обработки изображений подтверждается приведенными в работе примерами анализа экспериментальных данных для разных типов воды.

**Ключевые слова:** газоразрядное излучение, вейвлет-анализ.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Вода є невід'ємною складовою живої та неживої природи, що обумовлює довготривалий інтерес науковців різних галузей щодо вивчення її властивостей. Незважаючи на те, що теоретичні та експериментальні наукові дослідження проводяться вже декілька століть, ще залишається багато білих плям у поясненні усіх характеристик води, які вона проявляє в тих або інших умовах.

За увесь час наукових пошуків можна відслідкувати суттєву динаміку представлень про її структуру [1]. Взагалі під структурою води зазвичай розуміють конфігурацію та особливості побудови сітки водневих зв'язків.

На сьогоднішній день розроблено два основних підходи щодо синтезу моделей структури рідини. Перший з них отримав назву «кристалографічний». Така назва використовується завдяки розвиненому у цьому напрямі досліджень представленні про побудову конденсованих фаз речовини як аналогу структур кристалів. Дослідники, які підтримують таку модель, використовують для теоретичного опису конкретні координати розташування атомів та молекул. За результатами дифракційних досліджень матеріалів у твердих фазах дійсно можуть бути встановлені конкретні місця атомів. Для опису стану води аналогічну інформацію можна отримати лише на основі комп'ютерного експерименту. Такі структури отримали назву *I-структур*.

Альтернативним підходом є опис стану рідини на основі реальних експериментальних даних замість комп'ютерних моделей. Для розв'язання цього завдання використовується метод дифракції рентгенівських променів або нейтронів. Але такий підхід забезпечує отримання експериментальних даних, які усереднені за часом та простором. Такого типу моделі побудови води отримали назву *V-структур*.

У минулому сторіччі в галузі фізики конденсованих речовин перевагу було надано моделям побудови структури води, заснованим на формуванні сітки молекул. Вважалося, що міжмолекулярна сітка утворювалися на основі водневих, так званих, *H-зв'язків* [2].

Принципові зміни представлень про структуру води відбулися в останні два десятиліття. Необхідність розробки концептуально нових підходів була викликана невідповідністю існуючих моделей експериментальним даним, зокрема відомим аномальним властивостям води.

Основною проблемою моделей води, які базуються на вивченні *H-зв'язків*, є занадто малий інтервал часу їх існування. Це не дозволяє їх розгляд у статичному наближенні. Саме така ситуація викликала необхідність додаткового введення до розгляду у моделях води електромагнітного поля. Як підкреслюється у роботі [3] фізична система молекул води з утвореними *H-зв'язками* вимагає обов'язкового розгляду взаємодії

молекул води з електромагнітним полем. Базові засади розв'язання проблеми було створено в рамках теорії квантової електродинаміки [3, 4].

Фундаментального значення у квантовій теорії побудови води набуло введення поняття про когерентні (узгоджені) домени. Молекули води, що утворюють завдяки зв'язкам спільну структуру – когерентний домен, характеризуються узгодженою фазою коливань  $\varphi$ . У рамках квантової електродинаміки отримані рівняння, які встановлюють зв'язок значення фази  $\varphi$  з потенціалами [4]:

$$\vec{A} = \frac{h}{2\pi e} \vec{\nabla} \varphi,$$

$$V = -\frac{h}{2\pi e} \cdot \frac{d\varphi}{dt},$$

де  $\vec{A}$  – магнітний векторний потенціал,  $h$  – постійна Планка,  $V$  – електричний потенціал.

Наведені два рівняння встановлюють кореляційний зв'язок між фазою у межах ансамблю молекул когерентної області та їх потенціалами.

Теоретичне обґрунтування наявності у складі води когерентних доменів забезпечене визнанням наукового світу та отримало подальший розвиток не тільки в галузі фізики та хімії, але й в рамках біології та медицини. Було встановлено наявність когерентності у природних біологічних системах та об'єктах [5, 6].

Явища когерентності мають ключове значення у процесах метаболізму та переносу енергії в організмах живих істот. У некогерентному стані молекули води не можуть виступати у якості компонента, необхідного для протікання відновлювальних реакцій. Умовою нормального протікання процесів метаболізму в живих клітинах є наявність вільних носіїв заряду. Саме когерентні домени у складі води можуть виступати донорами електронів. Кожний когерентний домен оточений хмарою квазі-вільних електронів. Така електронна плазма може бути збуджена відносно малою порцією енергії, що не перевищує порогового значення 0,2 еВ.

Основне завдання, якому присвячено дану роботу, полягає у синтезі методу обробки зображень газорозрядного випромінювання води, який заснований на експериментальному отриманні зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів у електромагнітному полі високої напруженості з подальшою цифровою обробкою картин світіння. Процедура обробки забезпечує виділення специфічних параметрів випромінювання, які корельовано з біологічними та квантовими властивостями досліджуваної речовини.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для експериментального отримання зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів виконується фіксація на фотоматеріалі (рентгенівський плівці) структури розповсюдження випромінювання в імпульсному електромагнітному полі навколо зразка та в зоні його контакту з фотоматеріалом.

Експериментальні дослідження реалізовані з використанням реєстратора РЕК-1. Прилад призначений для візуалізації на фоточутливому матеріалі і 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 [7].

Аналіз процесів утворення вільних та квазівільних електронів у структурі води пов'язаний з дослідженнями у галузі біології та медицини, які зосереджено на вивченні окислювально-відновлювальних реакцій у живих клітинах. При взаємодії двох біомолекул та при наявності ізолюваних молекул води не існує джерела вільних електронів, оскільки вони щільно зв'язані з відповідними молекулами енергетичними зв'язками.

Якщо розглядати ці процеси у рамках класичних електростатичних моделей води, то виявляється, що окремі молекули не можуть виступати джерелом вільних носіїв заряду при відсутності суттєвого зовнішнього енергетичного впливу, необхідного для відокремлення електронів від їх молекул. Відповідь на питання щодо джерела постачання електронів, потрібних для біохімічних взаємодій, надають останні досягнення в галузі квантової електродинаміки.

З урахуванням квантових взаємодій у воді вільні носії заряду з'являються під час структурних перебудов рідкої фази води, зокрема при утворенні особливих областей, у яких існують певним чином організовані молекулярні сукупності – когерентні домени. Між когерентними доменами реалізується статична взаємодія, при цьому водні когерентні домени можуть охоплювати області до 0,1 мкм. Міжмолекулярна взаємодія у когерентних доменах забезпечується завдяки участі мільйонів молекул. Таким чином, структура води у рідкому стані передбачає існування областей з різними характеристиками.

Області води у когерентному стані міжмолекулярної взаємодії виступають постачальниками вільних електронів при окислювально-відновлювальних реакціях в живих організмах. В клітинах молекули води мають декілька різних електронних енергетичних рівнів – відповідно «звичайного» молекулярного стану та збуджених областей існування доменів у когерентному стані. Напруженість на границях областей загальної води та когерентних областей є причиною утворення умов для енергетичної передачі у біологічних системах та довготривалого електронного збудження, яке ще достатньо давно було зафіксовано експериментально, але не було обґрунтовано теоретично. Впорядковані послідовні структури води у складі живих організмів виконують важливі біологічні функції.

Завдяки останнім дослідженням в галузі квантової електродинаміки було теоретично доказано, що вода у некогерентному стані (еталоном такого типу води виступає дистильована) не здатна виступати джерелом електронів, а тому формує слабкий відгук на зовнішні впливи. Таким чином, реакція зразка води на зовнішній вплив у вигляді електромагнітного поля, є підставою для непрямого експериментального визначення біологічних та квантових властивостей води.

Експериментальний метод, який полягає в отриманні зображень газорозрядного світіння води, забезпечує можливість фіксації картини випромінювання з розчину вільних носіїв заряду, які у даному випадку виступають необхідним компонентом для протікання струму між електродними, що утворюють електромагнітне поле [8]. Отримана картина випромінювання зразка рідини характеризується певними специфічними ознаками яскравості та геометрії розповсюдження розряду (рис. 1–3).

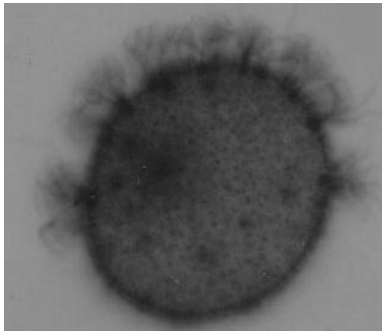


Рисунок 1 – Зображення газорозрядного випромінювання стічної води промислового підприємства

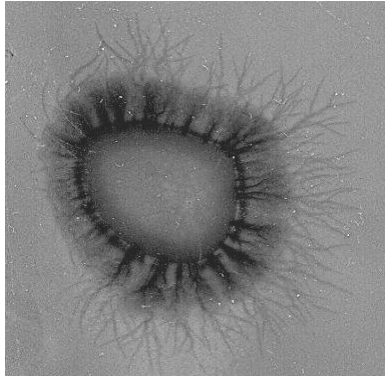


Рисунок 2 – Зображення газорозрядного випромінювання води з природного джерела «Софіївка»

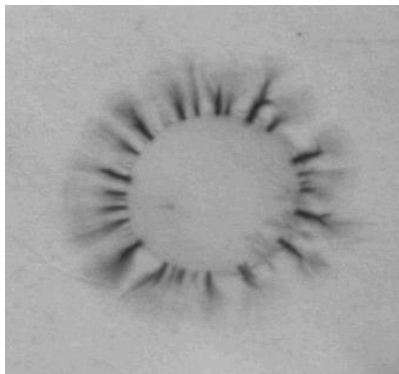


Рисунок 3 – Зображення газорозрядного випромінювання дистильованої води

Візуальний аналіз зображень світіння різних типів води, зареєстрованих на рентгенівській плівці, дозволяє виділити наступні суттєві ознаки.

1. Для стічної води характерне темне зернисте забарвлення внутрішнього кола світіння, що спостерігається у зоні контакту досліджуваної краплі рідини з фотоматеріалом. Зовнішнє коло світіння (так звана корона газових розрядів), що утворюється завдяки протіканню окремих розрядних променів (стрімерів) безпосередньо по поверхні рентгенівської плівки, дуже нерівномірне. Зокрема для картини світіння, яка представлена на рис. 1, характерна відсутність розрядних стрімерів у нижній половині кола світіння.

2. Для зразків дистильованої води є узагальнені ознаки світіння, які проявляються у наступному. Зображення випромінювання завжди має світле внутрішнє коло, що обумовлено високим ступенем хі-

мічного очищення води та відсутністю будь-яких домішок, які, контактуючи з водним середовищем, під впливом зовнішнього електромагнітного поля здатні формувати певну розрядну картину у зоні контакту рідиннофазного об'єкту з фотоматеріалом. Навколо крапліни зразка дистильованої води формується достатньо рівномірне, але слабке за геометричними та яскравісними характеристиками коло світіння. Незначні розміри зовнішньої корони світіння пояснюються, безумовно, малою кількістю вільних носіїв заряду, якими здатна забезпечити дистильована вода.

3. Для зразків природної води в цілому характерна широка рівномірна корона світіння, у геометричній структурі якої чітко відстежуються окремі розрядні шляхи – стрімери. На основі аналізу багатьох експериментальних даних дослідження води з різних природних джерел, у тому числі, й джерел лікувальних та цілющих вод, було встановлено, що для зразків з встановленими профілактично-лікувальними властивостями, зазвичай виявляється характерною подвійна корона світіння. Приклад такої води з природного джерела показаний на рис. 2, на якому чітко відстежується друга корона світіння, що складається з окремих чітко виражених гіллястих розрядів.

Слід зауважити, що усі оглянуті у пп. 1–3 ознаки світіння різних типів води, було сформовано на основі експертного аналізу значних вибірок експериментальних даних. На рис. 1–3 наведено лише характерні зображення світіння. Взагалі для основних типів води (дистильована, водопровідна, стічна, природна, штучно очищена/активована) було отримано близько 4500 тисяч зображень. Зокрема для дистильованої близько 300, водопровідної близько 1000, стічна – 200, штучно очищених/активованих – 1000 та близько 2000 зразків природної води з різних джерел України та зарубіжжя.

У той же час цілком зрозуміло, що результати експертного аналізу на якісному рівні мають низку недоліків (зниження достовірності за рахунок суб'єктивних факторів, великі витрати часу на аналіз візуальної інформації, відсутність кількісних значень специфічних ознак зображень газорозрядного випромінювання).

З метою параметризації геометричних та яскравісних ознак зображень, підвищення рівня достовірності та ефективності аналізу запропонований метод цифрової обробки зображень, який ґрунтується на використанні сучасних засобів вейвлет-аналізу. Ключовим моментом при виборі математичного апарату для обробки експериментальних даних вимірювань слугувала здатність засобів вейвлет-розкладання забезпечити кратномасштабний аналіз зображень.

У порівнянні з класичними методами спектрального аналізу, наприклад, перетворення Фур'є або фільтрів, вейвлет-розкладання здатне забезпечити просторовий аналіз з різними масштабами. При цьому цифрова обробка зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів передбачає комплексний підхід, який містить як засоби оцінки загальних характеристик, так і окремі деталі зображень випромінювання. Розроблені методи оцінки інтегральних параметрів світіння детально викладено у роботах [9–11].

Ретельний аналіз окремих деталей розповсюдження газових розрядів на поверхні рентгенівської плівки може бути ефективно виконаний на базі вейвлет-перетворення [12].

Зазвичай при комп'ютерній обробці використовується визначення зображення як двовимірної функції  $f(x,y)$ , де  $x$  та  $y$  – координати у просторі. Значення  $f$  у будь-якій точці, яка характеризується парою координат  $(x,y)$ , називається інтенсивністю або яскравістю зображення.

У випадку аналогової форми подання величини  $x$ ,  $y$ ,  $f$  приймають нескінченну множину значень у межах будь-якого інтервалу, тобто виявляються неперервними величинами. Цифрове зображення характеризується тим, що  $x$ ,  $y$ ,  $f$  можуть приймати лише кінцеву множину дискретних значень. У підсумку значення функції  $f$  у точках з відомими просторовими координатами  $(x,y)$  є позитивною скалярною величиною. Класичний метод реєстрації газорозрядного випромінювання на високочутливій рентгенівській плівці передбачає отримання результату у вигляді полутонівих зображень (у відтінках сірого). Конкретний фізичний сенс функції  $f$  визначається джерелом формування зображення. Оскільки зображення світіння дослідного об'єкту генерується у результаті протікання певного фізичного процесу при впливі електромагнітного поля, то значення функції  $f(x,y)$  пропорційні енергії випромінювання фізичного джерела. Тому фізичний сенс функції  $f(x,y)$  визначає, що вона завжди буде ненульовою та кінцевою, тобто  $0 < f(x,y) < \infty$ .

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 зазвичай при комп'ютерному представленні зображень здвигують уздовж числової вісі 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  $l=L-1$ . Для напівтонового зображення усі проміжні значення інтервалу  $[0, L-1]$  відповідають відтінкам сірого кольору.

Під час дискретизації та квантування зображення газорозрядного світіння завдяки скануванню фотоматеріалу або при використанні цифрової камери, забезпечується його представлення у комп'ютері у вигляді матриці чисел, тобто реалізується перетворення  $f(x,y) \rightarrow A_{M \times N}$ , де  $M$  – кількість рядків,  $N$  – кількість стовпчиків. У комп'ютерному варіанті представленні напівтонових растрових зображень у якості початку координат  $(x,y) = (0,0)$  використовується лівий верхній кут зображення. Таким чином, функція яскравості пікселів набуває наступної форми:

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

Правою частиною останньої рівності є цифрове зображення, що складається з окремих елементів – пікселів. При програмній цифровій обробці зручною виявляється матрична форма представлення зображень:

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \dots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

У запропонованому методі цифрової обробки картин випромінювання рідиннофазних об'єктів вейвлет-перетворення 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  $f(M-1,N-1)$ , тобто охоплено усі пікселі, розташовані на діагоналі матриці  $A$ . На графіках профілю яскравості (рис. 4–6) за віссю абсцис позначено координату, за віссю ординат – значення яскравості пікселів уздовж обраного напрямку профілю.

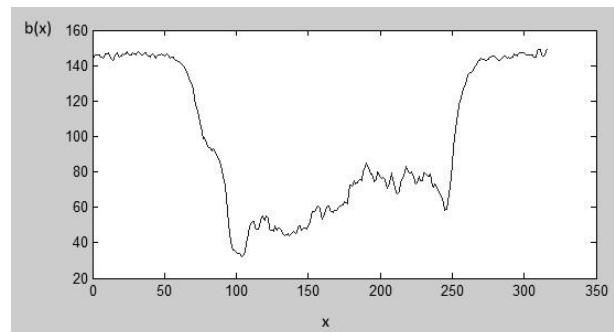


Рисунок 4 – Крива профілю яскравості пікселів для зображення газорозрядного випромінювання стічної води промислового підприємства

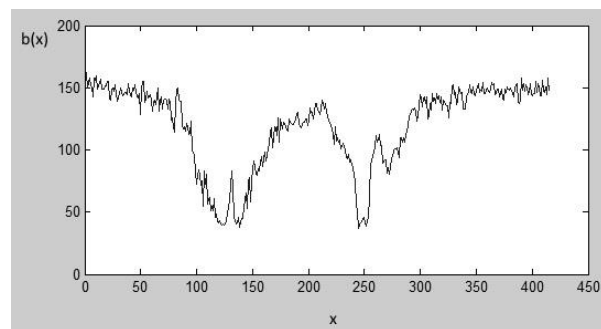


Рисунок 5 – Крива профілю яскравості пікселів для зображення газорозрядного випромінювання природної води з джерела «Софіївка»

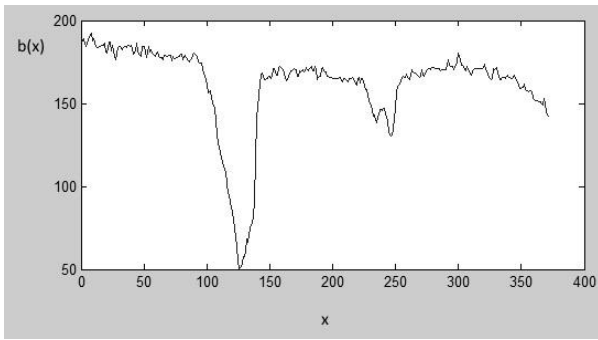


Рисунок 6 – Крива профілю яскравості пікселів для зображення газорозрядного випромінювання дистильованої води

Вейвлет-перетворення розбиває дані або функції на складові з різними частотами, кожна з яких на наступному етапі може бути вивчена з іншим розрешенням, тобто масштабом. Метод заснований на фундаментальній концепції представлення довільних функцій на основі здвигов та масштабувань однієї локалізованої хвилі (вейвлет-функції).

Пряме неперервне вейвлет-перетворення реалізується згідно залежності [12]:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt,$$

де  $a$  та  $b$  – параметри, які визначають відповідно масштаб та зміщення функції  $\psi$ ;  $\psi$  – аналізуючий вейвлет;  $*$  – символ комплексного сполучення;  $f(x)$  – досліджувана функція (значення яскравості пікселів уздовж обраного профілю зображення);  $W_f(a, b)$  – набір вейвлет-коефіцієнтів.

Вихідна досліджувана функція  $f(x)$ , що представляє собою профіль яскравості, для цифрового зображення є дискретною, тобто складається з обмеженої послідовності окремих значень яскравості пікселів уздовж прямої  $f_k = f(t_k)$ , що вимагає використання дискретної форми вейвлет-перетворення:

$$W_A(a, b) = \frac{1}{n(a, b)} \sum_{k=0}^{N-1} f_k \psi^* \left( \frac{t_k - b}{a} \right).$$

Метод вейвлет-пакетів є узагальненням принципу вейвлет-розкладання, який реалізує багатограний аналіз сигналів. Вейвлет-пакети забезпечують виділення трьох інтуїтивно зрозумілих характеристик сигналів: положення, масштаб та частоту [13]. У якості базисних використовуються ортогональні вейвлет-функції. Згідно з процедурою вейвлет-розкладання відбувається розбиття апроксимуючих коефіцієнтів на дві частини. Завдяки можливості виділення кожної з них, стає доступним отримання окремо вектору наближуючих коефіцієнтів та вектору деталізуючих коефіцієнтів. Ідеї аналізу сигналів при використанні вейвлетів та вейвлет-пакетів однакові, різниця полягає у більшій гнучкості пакетного аналізу, яка додає складності реалізації. Крім того у вейвлет-перетворенні розкладання підлягає низькочастотна частина сигналу. При пакетному

перетворенні високочастотна складова сигналу розкладається наряду з низькочастотною, що в результаті забезпечує найкращу частотну локалізацію.

Синтез вейвлет-пакетів виконується на базі двох ортогональних масштабуючих функцій  $\gamma(x)$  та  $\psi(x)$  з відповідними фільтрами  $h_n$  і  $g_n$ . Масштабуючі функції аналітично визначаються наступним чином:

$$\gamma(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_n \gamma(2x - n),$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in \mathbb{Z}} g_n \gamma(2x - n),$$

де використовуються числові послідовності  $\{h_n\}$  та  $\{g_n\}$ , а номер  $n$  може приймати будь-які цілі значення  $n \in \mathbb{Z}$ . Таким чином організується операція згортки відповідно з фільтрами  $h_n$  та  $g_n$ .

Якщо позначити через  $V_0$  простір, який породжений здвигом  $\gamma(x - n)$  та через  $V_1$  – простір утворений здвигом  $\gamma(2x - n)$ , то отримаємо:

$$V_1 = V_0 \oplus W_0, \tag{1}$$

де  $W_0$  – простір вейвлетів, який породжений ортонормованим базисом функцій  $\psi(x - n)$ . Таким чином реалізується перехід від ортогонального базису  $\{\gamma(2x - n)\}$ , визначеному у просторі  $V_1$  до іншого ортонормованого базису  $\{\gamma(x - n), \psi(x - k)\}$  що в цілому задають ортогональне розкладання (1).

Аналогічно на базі вейвлет-розкладання можна отримати наступний вираз:

$$V_2 = V_1 \oplus W_1 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1. \tag{2}$$

У виразі (2) на основі цілих здвигов  $\gamma(x - n)$  та  $\psi(x - k)$  можливо утворення просторів  $V_1$  та  $V_2$ , що мають однаковий розмір. Простір  $W_1$  має розмір у два рази більший, оскільки для його утворення використовуються напівцілі здвиги  $\psi(2x - k)$ .

Якщо застосувати процедуру розкладання вже до простору  $W_1$ , тоді відповідно отримаємо два нових підпростору, що породжуються функціями

$$w_2(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_n \psi(2x - n),$$

$$w_3(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k \psi(2x - k),$$

та пов'язані з вихідним на основі залежності

$$W_1 = W_{10} \oplus W_{11}. \tag{3}$$

На основі (3) можна отримати розкладання до ортогональних просторів одного розміру наступним чином:

$$V_2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_{10} \oplus W_{11}. \tag{4}$$

Для отримання вейвлет-пакетного базису необхідно формування простору за наступним правилом:

$$V_3 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus W_2. \quad (5)$$

Вираз (5) утворюється за умови  $f(x) \in W_1 \Leftrightarrow f(2x) \in W_2$ , а простір  $W_2$  виявляється масштабованою версією  $W_1$ , базис якого складається з напівцілих здвигов  $w_2(2x-n)$ ,  $w_3(2x-k)$  та описується виразом:

$$W_2 = 2W_1 = 2W_{10} \oplus 2W_{11}. \quad (6)$$

Знов скористаємося цілими здвигами функцій

$$w_4(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_n w_2(2x-n), \quad w_5(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k w_2(2x-k),$$

$$w_6(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_n w_3(2x-n), \quad w_7(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k w_3(2x-k)$$

та отримаємо вейвлет-пакетне розкладання на підпростори з ортогональними базисами:

$$V_3 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_{10} \oplus W_{11} \oplus W_{100} \oplus W_{101} \oplus W_{110} \oplus W_{111}.$$

Вейвлет-пакетним розкладанням називається таке розкладання функції  $f(x)$  за базисом  $w_n(2x-k)$ , де вейвлет-пакетні функції мають вигляд:

$$w_{2n}(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k w_n(2x-k),$$

$$w_{2n+1}(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k w_n(2x-k),$$

де  $n$  – довільне натуральне число.

Зазвичай для наявності реалізації кратномасштабного перетворення використовується геометрична інтерпретація розкладання у вигляді дерева (рис. 7).

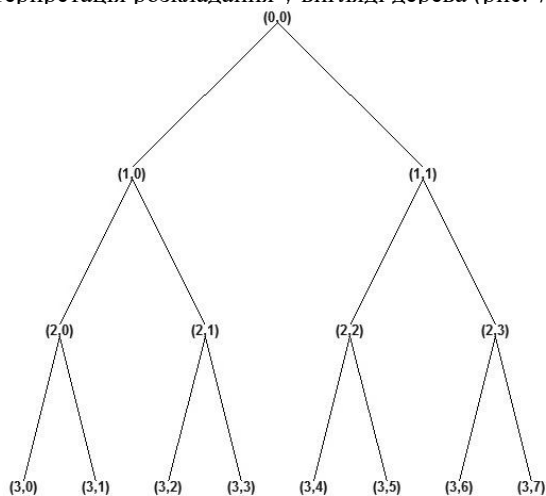
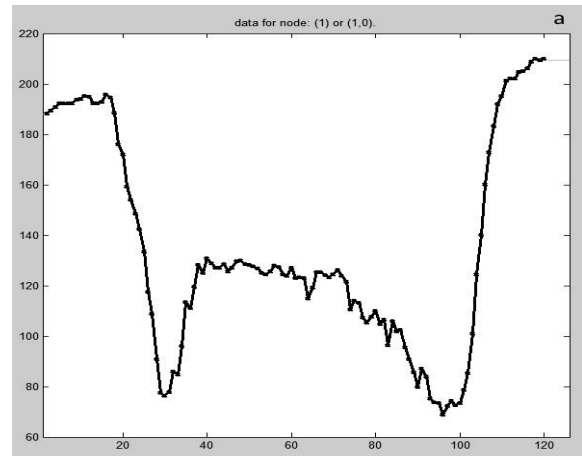


Рисунок 7 – Схема дерева вейвлет-пакетного розкладання

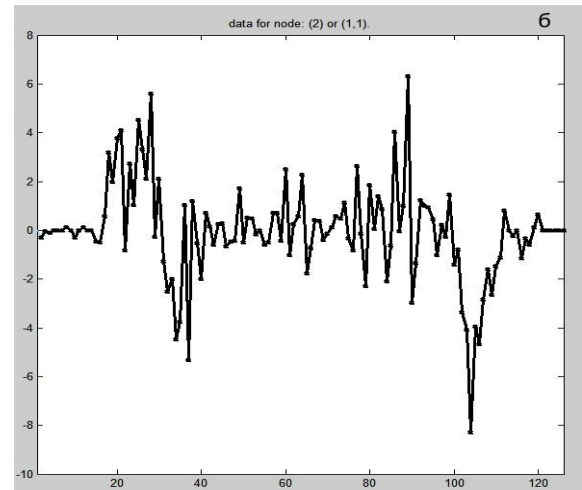
У вузлі-вершині розташована задана функція. При розв'язанні даної задачі – крива профілю яскравості пікселів зображення газорозрядного випромінювання

води. Гілки дерева, розташовані ліворуч призначені для ілюстрації апроксимуючих коефіцієнтів, праворуч – вказують на деталізуючі коефіцієнти.

Результати використання процедури пакетного вейвлет-розкладання для зображень газорозрядного випромінювання води різних типів представлено на рис. 8–10.

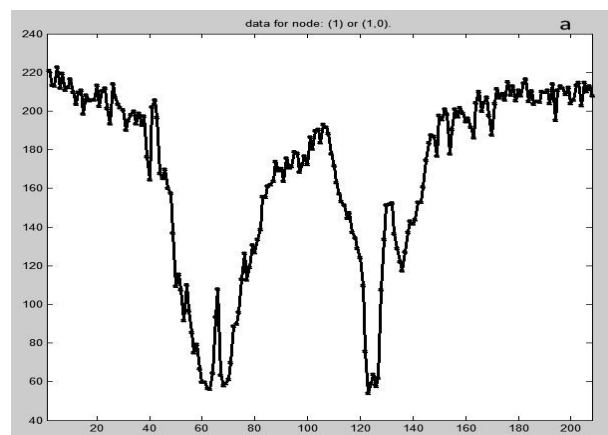


а)

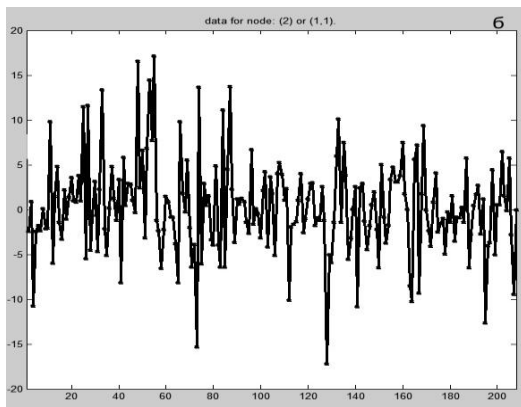


б)

Рисунок 8 – Вейвлет-пакетне розкладання профілю яскравості для зображення стічної води: а – апроксимуючий графік для вузла (1,0); б – деталізуючий графік для вузла (1,1)

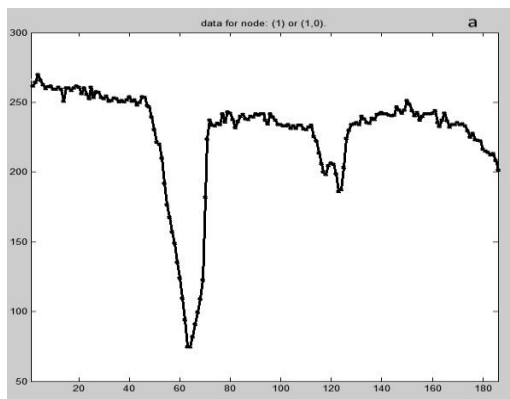


а)

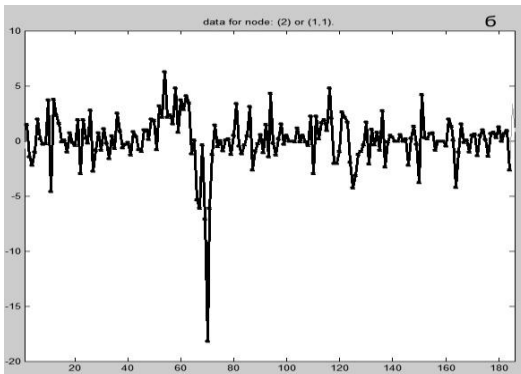


б)

Рисунок 9 – Вейвлет-пакетне розкладання профілю яскравості для зображення природної води: а – апроксимуючий графік для вузла (1,0); б – деталізуючий графік для вузла (1,1)



а)



б)

Рисунок 10 – Вейвлет-пакетне розкладання профілю яскравості для зображення дистильованої води: а – апроксимуючий графік для вузла (1,0); б – деталізуючий графік для вузла (1,1)

**ВИСНОВКИ.** Аналіз високочастотної складової кривої профілю яскравості зображень випромінювання забезпечує параметризацію геометричних та яскравісних ознак (рис. 8–10,б). Для дистильованої води характерні сплески високочастотної компоненти сигналу з амплітудами, значення яких обмежуються діапазоном (-5; 5). Аналогічний графік, отриманий для вузлу (1,1) зразка стічної води, дозволяє виділити амплітуди високочастотних сплесків яскравісної функції на рівні, який знаходиться в інтервалі (-8; 6). Принципово інший вигляд набуває крива високочастотної складової профілю яскравості для зразка природної води (рис. 9,б). У цьому випадку спостерігається багато сплесків зі значними амплітудами, що за абсолютним значенням перевищують відмітку 18.

Спектральний аналіз використаний з метою параметризації специфічних ознак картин розповсюдження газових розрядів на поверхні рентгенівської плівки. Вейвлет-пакетне розкладання забезпечує ефективний кратномасштабний аналіз зображень газорозрядного випромінювання води. Отримані результати обробки зображень зразків води підтвердили висунуті теоретичні припущення щодо кореляції паттернів зображень випромінювання води, стимульованої завдяки наявності зовнішнього електромагнітного поля, з її біологічними та квантовими властивостями. Запропонована методика може бути використана при побудові методів та обладнання для експрес-аналізу стану водного середовища.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маленков Г.Г. Структура і динаміка жидкої води // Журнал структурної хімії. – 2006. – Т. 47. – С. 5–32.
2. Teixeira J., Luzar A. Physics of liquid water: Structure and dynamics. In Hydration Processes in Biology: Theoretical and Experimental Approaches (NATO ASI series A); Bellissent-Funel, M.C., Ed.; IOS Press: Amsterdam, the Netherlands – 1999. – pp. 35–65.
3. Bono I., Del Giudice E., Gamberale L., Henry M. Emergence of the Coherent Structure of Liquid Water // Water. – 2012. – N. 4. – PP. 510–532. doi: 10.3390/w4030510.
4. Arani R., Bono I., Del Giudice E., Preparata G. QED coherence and the thermodynamics of water. Int. J. Mod. Phys. – 1995. – N. 9. – PP. 1813–1841.
5. Collini E., Wong C.Y., Wilk K.E., Curmi P.M.G.; Brumer P., Scholes G.D. Coherently wired light-harvesting in photosynthetic marine algae at ambient temperature. Nature. – 2010. – N. 463. – PP. 644–647.
6. Еремін В.В., Глебов І.О., Поддубний В.В. Роль когерентності в явленнях переносу електрона в природних біохімічних наносистемах // Наносистеми: фізика, хімія, математика. – 2013. – №4(1). – С.130–138.
7. Спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазного об'єкту і пристрій для його здійснення. Пат. на кор. модель 22212 Україна / Пісоцька Л. А., Лапицький В. М., Боцман К. І., Герашенко С. В. – заявл. 17.04.06; опубл. 50.04.07.
8. Глухова Н.В. Розробка методу експрес-оцінки біологічних властивостей води // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/5(72). – С. 18–25.
9. Песоцька Л.А., Глухова Н.В., Лапицький В.Н. Аналіз зображень кирлиановського свечення капелі води // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. – №1. – С. 91–96.
10. Глухова Н.В., Курик М.В., Песоцька Л.А., Кучук Н.Г. Методи вимірювання фізико-хімічних і енергоінформаційних параметрів води // Системи обробки інформації. – 2014. – №9(125). – С. 215–219.
11. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А., Горова А.І. Спосіб експрес-оцінки рідиннофазного об'єкта. Патент на корисну модель. Пат. 86701 Україна: МПК G-1N 21/17. Заявлено 25.06.2013; опубл. 10.01.2014.
12. Daubechies, I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies. – MIAN, Philadelphia, 1992.
13. Jagannath Sethi, Sibaram Mishra, Prajna Parimita Dash, Sudhansu Kumar Mishra, Sukadev Meher. Image Compression Using Wavelet Packet Tree // ACEEE Int. J. on Signal & Image Processing. – 2011. – Vol. 02, No. 01. – PP. 143–149.

## IMAGES PROCESSING METHOD OF WATER RADIATION BASED ON WAVELET PACKET

**N. Glukhova**

National Mining University

prosp. K. Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49027, Ukraine. E-mail: GINaVi@ukr.net

The analysis of existing methods of theoretical description and experimental studies of the structural features of water is made. The basics of the current state of representations in terms of quantum electrodynamics on the structure of water as a set of coherent domains are expounded. A method of studying the structural features of different water types is proposed. The method is based on the registration of gas-discharge radiation images of water droplets in high intensity electromagnetic field. Specific signs of distribution of gas discharges along the surface of X-ray film are distinguished during the digital image processing. Processing method based on wavelet packets is proposed for a quantitative analysis of the geometry and brightness characteristics of discharges. Usage of wavelet decomposition provides an effective procedure of multiresolution image analysis of gas-discharge radiation. The result of the analysis is to obtain a decomposition tree, which allows us to estimate the wavelet coefficients of the decomposition of image brightness profile at different scales. The practical significance and authenticity of the results of image processing are confirmed by examples of analysis of experimental data for different types of water given in the work. References 13, figures 10.

**Key words:** gas-discharge radiation, wavelet analysis.

## REFERENCES

1. Malenkov, G. G. (2006), "Structure and dynamics of liquid water", *Zhurnal strukturnoy himii*, no. 47, pp. 5–32.
2. Teixeira, J., Luzar, A. (1999), Physics of liquid water: Structure and dynamics, *Hydration Processes in Biology: Theoretical and Experimental Approaches*, pp. 35–65.
3. Bono, I., Del Giudice, E., Gamberale, L., Henry, M. (2012), Emergence of the Coherent Structure of Liquid Water, *Water*, no. 4, pp. 510–532.
4. Arani, R., Bono, I., Del Giudice, E., Preparata, G. (1995), "QED coherence and the thermodynamics of water", *Int. J. Mod. Phys.*, no. 9, pp. 1813–1841.
5. Collini, E., Wong, C.Y., Wilk, K.E., Curmi, P.M.G.; Brumer, P., Scholes, G.D. (2010), "Coherently wired light-harvesting in photosynthetic marine algae at ambient temperature", *Nature*, no. 463, pp. 644–647.
6. Eremin, V.V., Glebov, I.O., Poddubnyiy, V.V. (2013) "The role of coherence in the phenomena of electron transfer in natural biochemical nanosystems", *Nanosistemy: Fizika, Himiya, Matematika*, no. 4(1), pp. 130–138.
7. Pisotska, L. A., Lapitskiy, V. M., Botsman, K. I., Geraschenko, S. V. (2007), *Sposib otsinki energoinformatsynogo stanu ridinnofaznogo ob'ektu i pristriy dlya yogo zdiysnennya* [Assessment method of liquid-phase energy state of object and device for its implementation], Patent for utility model, no. 22212, Ukraine, publ. 50.04.07.
8. Glukhova, N.V. (2014), "Development of a method of rapid assessment of biological properties of water", *Shidno-Evropeyskiy Zhurnal Peredovih Tehnologiy*, no. 6/5(72), pp. 18–25.
9. Pesotskaya, L.A., Glukhova, N.V., Lapitskiy, V.N. (2013), "Analysis of Kirlian glow images of water drops", *Naukoviy Visnik Natsionalnogo Gimnichogo Universitetu*, no. 1, pp. 91–96.
10. Glukhova, N.V., Kurik, M.V., Pesotskaja, L.A., Kuchuk, N.G. (2014), "Measuring methods of physico-chemical and energy-informational parameters of water", *Sistemi Obrobki Informatsiyi*, no. 9(125), pp. 215–219.
11. Glukhova, N.V., Pesotskaja, L.A., Gorova, A.I. (2014), *Sposib ekspres-otsinki stanu ridinnofaznogo ob'ekta* [The method rapid assessment of liquid phase object], The patent for utility model, no. 86701, Ukraine, publ. 10.01.2014.
12. Daubechies, I. (1992), *Ten Lectures on Wavelets*, MIAN, Philadelphia, USA.
13. Jagannath, S., Sibaram, M., Prajna, P., Dash, S., Kumar M., Sukadev M. (2011), "Image Compression Using Wavelet Packet Tree", *ACEEE Int. J. on Signal & Image Processing*, vol. 02, no. 01, pp. 143–149.

Стаття надійшла 26.08.2015.