

4. Фролов, Ю. А. Теплотехническое исследование процесса агломерации и совершенствование технологии и техники для производства агломерата [Текст] : автореф. дис. ... д. т. н / Ю. А. Фролов. – Екатеринбург, 2005. – 49 с.
5. Дмитриева, Е. Г. Совершенствование технологии и оборудования для производства агломерата в условиях работы на тонких концентратах [Текст] / Е. Г. Дмитриева, А. А. Вяткини др. // Сталь. – 2009. – № 2. – С. 4–6.
6. Вяткин, А. А. Метод прогнозирования прочностных свойств агломерата [Текст] / А. А. Вяткин, Е. Г. Дмитриева, А. В. Мылыгин и др. // Бюлл. Черная металлургия. – 2008. – № 3. – С. 44–47.
7. Калашников, С. Н. Математическое моделирование тепло-массообменных процессов в металлургических агрегатах на основе объектно-ориентированной технологии [Текст]: дис. ... д-ра техн. / С. Н. Калашников. – Новокузнецк, 2002. – 278 с.
8. Елисеев, А. А. Исследование тепло-массообменных процессов при агломерации шихты [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: / А. А. Елисеев. – Череповец, 2006. – 165 с.
9. Боковиков, Б. А. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата [Текст] / Б. А. Боковиков, В. В. Брагин, В. М. Малкин и др. // Сталь. – 2010. – № 9. – С. 84–87.
10. Мных, А. С. Исследование влияния фракционного состава агломерационной шихты на распределение химических компонентов слоя материала для условий комбината «Запорожсталь» [Текст] / А. С. Мных // Теория и практика металлургии. – 2014. – № 3 (6). – С. 35–38.
11. Мных, А. С. Решение задачи распределения температуры в единичном объеме агломерационного слоя методом конечных элементов с учетом внутреннего источника тепла [Текст] / А. С. Мных // Збірник наукових праць ДДТУ (технічні науки). – 2014. – № 2(25). – С. 47–51.
12. Мных, А. С. Синтез трехмерной модели теплового режима процесса спекания агломерационной шихты [Текст] / А. С. Мных // Вісник КрНУ (збірник наукових праць). – 2014. - №38 – С. 44-47.
13. Коротич, В. И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке [Текст] / В. И. Коротич – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
14. Минаков, Н. С. Исследование влияния газодинамического режима на показатели процесса агломерации при спекании шихты в высоком слое [Текст] / Н. С. Минаков, Г. А. Арыков, Б. И. Колокольцев и др. // Сталь. – 1994. – № 6. – С. 6–11.
15. Тарасов, П. В. Основные закономерности сопротивления и газопроницаемости зернистого слоя [Текст] / П. В. Тарасов // Сталь. – 2006. – № 3. – С. 12–15.

Досліджено біологічні властивості води на основі використання методу газорозрядного випромінювання в електромагнітному полі. Розглянутий метод забезпечує експрес-оцінку інтегральних біологічних характеристик зразка рідиннофазного об'єкту. Запропоновано методи та алгоритми цифрової обробки зареєстрованих зображень газорозрядного випромінювання. Виконано класифікацію води різних типів на основі методології кластерного аналізу

Ключові слова: газорозрядне випромінювання, якість води, цифрова обробка зображень, кластерний аналіз

Исследованы биологические свойства воды на основе использования метода газоразрядного излучения в электромагнитном поле. Рассмотренный метод обеспечивает экспресс-оценку интегральных биологических характеристик образца жидкофазного объекта. Предложены методы и алгоритмы цифровой обработки зарегистрированных изображений газоразрядного излучения. Выполнена классификация воды различных типов на основе методологии кластерного анализа

Ключевые слова: газоразрядное излучение, качество воды, цифровая обработка изображений, кластерный анализ

УДК 546.212

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31546

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕКСПРЕС-ОЦІНКИ БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ

Н. В. Глухова

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра метрології та інформаційно-
вимірювальних технологійДВНЗ «Національний гірничий університет»
пр. Карла Маркса, 19,
м. Дніпропетровськ, Україна, 49027
E-mail: GLNAVI@ukr.net

1. Вступ

Науково-дослідні центри різних країн проявляють постійний інтерес щодо теоретичного та експе-

риментального вивчення аномальних властивостей води, які не можна пояснити спираючись на класичні моделі. Нові чисельні дослідження підтверджують той факт, що дійсна природа та властивості

води виходять за рамки простої хімічної формули H_2O .

З точки зору впливу стану води на процеси метаболізму живих організмів, останні дослідження дозволили встановити тісний взаємозв'язок між біологічними та квантовими її властивостями. Надзвичайно важливим для функціонування людського організму виявляється наявність у складі води структурованих груп окремих молекул, які здатні формувати когерентні домени, процеси перетворення яких слід оцінювати з позицій квантової механіки.

При цьому детальний аналіз квантових властивостей води потребує наявності складного лабораторного устаткування, висококваліфікованого персоналу для обслуговування, що призводить до неможливості виконання оцінки біологічних властивостей води у скринінговому режимі, наприклад, у системах екологічного моніторингу. У сучасних умовах потужного техногенного впливу на довкілля та, зокрема, на стан водних ресурсів, розробка експрес-методів аналізу виявляється актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Один з перспективних напрямів такого роду наукових досліджень направлений на вивчення квантових властивостей води [1].

З точки зору класичної фізики, атоми у молекулі води завжди мають однаковий, чітко фіксований, інтервал між собою. Вважається, що молекули при цьому рухаються безперервно за відомою динамікою. Така класична електростатична модель води дозволяє достатньо точно відтворювати водневі зв'язки та передбачати результати експериментальних досліджень багатьох властивостей води. Але при вивченні специфічних квантових властивостей води класичні моделі взаємодії молекул дають теоретичні оцінки, що мають значне відхилення від отриманих на практиці даних [1].

У роботі [2] викладено результати моделювання з урахуванням саме квантових ефектів та зроблений висновок про надзвичайну важливість балансу квантових процесів для забезпечення певних властивостей води, важливих для існування живих організмів. Коливання відстані між молекулами води можуть ослаблювати силу водневих зв'язків. У свою чергу, квантові коливання відстаней між атомами та зміна значень куту зв'язку призводять до динаміки біологічних властивостей води. Авторами роботи [3] виконаний аналіз зв'язку між квантовими та біологічними властивостями води з природних джерел.

У роботі [4] групою фізиків запропоновано та досліджено модель «конкуруючих квантових ефектів». Конкуруючі квантові ефекти досліджено на основі вивчення двох різних форм ізотопів водню:

- а) водню з одним протоном;
- б) дейтерію.

Додаткова маса дейтерію обумовлює його знижену властивість сприйняття у порівнянні з воднем до квантової невизначеності у довжині зв'язків. Тобто зв'язок дейтерій-кисень виявляється більш коротким, ніж зв'язок водню та кисню. Експериментальні дослідження, проведені вченими, полягали у розповсюдженні пучку електронів у воді з реєстрацією їх розсі-

ювання. Результати підтвердили зроблені теоретичні висновки.

Біологічні властивості води обумовлені силами взаємодії усередині молекули та міжмолекулярними зв'язками. Саме такі фактори враховуються засобами квантової механіки. Група дослідників у лабораторії *Rutherford Appleton Lab* у Великобританії значну увагу приділяли вивченню квантових властивостей води у нанотрубках [5]. Специфіка експерименту полягала у вимірюванні параметрів водного середовища, обмеженого у просторі малих розмірів. Під час експериментальних досліджень властивостей води, розташованої у вуглецевих нанотрубках при кімнатній температурі, було виявлено суттєву різницю з класичною електростатичною моделлю води. Встановлено, що протони у водному середовищі нано розмірів мають зовсім інші властивості, ніж у більш великих об'ємах води. Вчені прийшли до висновку, що для опису властивостей води в просторі з нано розмірами, необхідний якісно інший підхід. Додатково було висунуто припущення щодо існування квантової когерентності, яка розповсюджується через електронну мережу [6]. Важливо зазначити, що фізики у Великобританії обрали для реалізації досліджень саме вуглецеві нанотрубки, оскільки вони є аналогом умов існування води у клітинах живих істот, наприклад, іонних каналів у мембранах клітин.

Оскільки вода виступає невід'ємною частиною живих організмів, то вона приймає участь в усіх процесах самоорганізації та відновлення. Під час взаємодії води та біомолекул змінюється структура води, що призводить до динаміки її фізичних властивостей та зміни електромагнітної активності [7]. Під впливом різноманітних зовнішніх факторів, у тому числі біологічних процесів, вода може змінювати свій стан. У роботі [7] підкреслюється, що сигнали, які випромінюються водою у певному когерентному стані можуть бути виявлені та зареєстровані.

Дослідження взаємозв'язку біологічних та квантових властивостей води є пріоритетним напрямом Українського інституту екології людини [8]. Актуальність та важливість вивчення квантових ефектів питної води обумовлюється впливом структурної будови води на процеси життєдіяльності організмів. Вода існує у живому організмі у двох станах: вільна міжклітинна та зв'язана внутріклітинна. Природна вода внаслідок контактів з оточуючим середовищем, зокрема з геологічними структурами, мінералізується та піддається впливу надслабких телурічних та вихрових полів. Результатом комплексного впливу є формування особливих рідких кристалів, за геометричними ознаками аналогічними тетраметрам. Кристали, у свою чергу, поєднуються в кластери, що представлені у вигляді когерентних доменів, розміри яких при кімнатній температурі досягають 0,1 мкм [9, 10].

У рамках дослідження рідкого стану водного середовища з точки зору квантової електродинаміки доказано, що вода являє собою сукупність когерентних доменів [3]. Конкретний розмір когерентного домену обумовлений довжиною хвилі квантового переходу з основного стану у збуджений. Енергетично основний та збуджений стани когерентних доменів відрізняються. Значення різниці в енергіях напрямку зв'язано з довжиною хвилі фотону м'якого рентгенівського випромінювання. Необхідно враховувати, що кожний

когерентний домен оточений полем, яке існує за його межами. Зв'язки між різними доменами утворюються саме завдяки існуванню полів, які, торкаючись одне одного нібито «склеюють» окремі домени у конгломерати.

Для дистильованої води характерно, що когерентні домени утворюють конгломерати, але не формують спільної когерентності між собою. Відсутність спільної когерентності не дозволяє дистильованій воді суттєво реагувати на зовнішні впливи.

На основі вивчення моделей кластеризації рідкої води встановлено, що утворення когерентних станів води з фрактальною структурою покращує біоенергетичні властивості питної води. Вживання людиною когерентної води підвищує зв'язаність у фрактальний стан біологічних рідин в організмі та фізіологічно відновлює функції серцево-судинної системи [11].

Стандартні класичні методи фізико-хімічного аналізу стану водного середовища мають певні обмеження щодо дослідження біологічних властивостей води. Недоліком розглянутих методів оцінки біологічних властивостей води є недостатня достовірність, обмежена область використання, потреба у складному лабораторному устаткуванні, що вимагає обслуговування висококваліфікованим персоналом.

3. Мета та задачі досліджень

Проведені дослідження ставили за мету визначення параметрів газорозрядного світіння зразків води, які забезпечують порівняння та класифікацію типів води з різними біологічними властивостями.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробка та практичне впровадження методів цифрової обробки зображень газорозрядного світіння (кірліанограм);
- виділення характерних ознак (паттернів) у зображеннях газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів;
- реалізація алгоритмів нечіткого кластерного аналізу для вибірок зразків різних типів води.

4. Матеріали і методи реєстрації та обробки зображень газорозрядного випромінювання зразків води

4.1. Обладнання та матеріали, які використовувалися при експериментальних дослідженнях

Для отримання експериментальних даних при експрес-оцінці біологічних властивостей води використовується метод, при якому дослідний зразок води розташовується в електромагнітному полі [12–16]. При впливі на зразок води у вигляді краплі, розташованої на фотоматеріалі, електромагнітного поля розвивається газорозрядне світіння, що фіксується у вигляді зображення, яке проявляється навколо зразка та в зоні контакту з фотоматеріалом (ефект Кірліан).

Оцінка біологічних властивостей води базується на методі вимірювань, який полягає у фіксації на фотоматеріалі структури газорозрядного світіння в електромагнітному полі навколо досліджуваного зразка води та в зоні його контакту з фотоматеріалом

[8, 16]. Ефект Кірліан обумовлений іонізацією молекул газового середовища за рахунок електронів та фотонів, імітованих з електронно-збуджених складних молекулярних структур води.

Експериментальні дослідження реалізовані з використанням реєстратора ефекту Кірліан РЕК-1. Прилад призначений для візуалізації на фоточутливому матеріалі і рентгенівській плівці кірліан-випромінювання. Прилад відповідає вимогам ГОСТ 20790, ГОСТ 15150, ДСТУ 3798, ГОСТ 12.2.025, технічним умовам та комплекту технічної документації УЗ3.1.14311577000-2005 [17].

Прилад має наступні технічні характеристики. Амплітуда імпульсу експозиційного струму в колі з досліджуваним об'єктом забезпечується в інтервалі від 5 до 10 мА. Критерієм працездатності приладу є знаходження амплітуди імпульсу струму в дослідному колі в цих межах. Тривалість імпульсу експозиційного струму в колі складає не більше 10 мкс. Критерієм відмови є зменшення амплітуди імпульсу струму в колі менше 5 мА.

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 основу роботи реєстратора РЕК-1 покладено ударне збудження контуру, який складається з індуктивності вторинної обмотки узгоджувального 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.

Реєстратор газорозрядного випромінювання містить плоский високовольтний електрод, на якому розташовано фотоматеріал (рентгенівська плівка), знімний фіксатор, з'єднаний із плоским електродом і джерелом струму, мірну ємність зі штоком для розміщення в ній досліджуваної рідини, порожню голку з електропровідного матеріалу для формування неоднорідного електричного поля. 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, при цьому зовнішній діаметр голки відповідає внутрішньому діаметрові трубки для створення неоднорідного електричного поля.

Послідовність отримання зображення газорозрядного випромінювання рідиннофазного об'єкту наступна. На робочій поверхні плоского електроду розміщують фотоматеріал, над яким встановлюють знімний фіксатор. Досліджувану рідину в заданому обсязі набирають у мірну ємність, голку якої поміщають у порожню трубку. Продавлюючи шток мірної ємності, досліджувана рідина в заданому об'ємі витікає на фотоматеріал, утворюючи краплю, поверхня якої контактує з голкою. Між плоским електродом і електродом для формування неоднорідного електричного поля подають напругу, у результаті чого в полі краплі виникає газовий розряд. Після експозиції фотоматеріал піддають стандартній хімічній обробці й одержують

зображення структури газорозрядного світіння навколо та у зоні контакту рідини з фотоматеріалом.

В рамках даної роботи було досліджено вибірки двох типів води: стічної та природної.

4. 2. Методики обробки та визначення параметрів зображень газорозрядного випромінювання води

При якісному аналізі експертом зазвичай враховуються такі ознаки зображення газорозрядного випромінювання води: внутрішнє кільце з напрямленими від нього радіальними стримерами, які утворюють середнє кільце та тонкі люмінесценції, що у сукупності надає параметр – ширина зовнішньої засвітки; структури світіння у зоні контакту зразка води з рентгенівською плівкою (внутрішнє коло зображення) на предмет зернистих включень та затемнень [16].

На першому етапі запропонований в рамках даної роботи спосіб оцінки стану рідиннофазного об'єкту включає в себе отримання зображень газорозрядного світіння для досліджуваного зразку. На другому етапі з метою обґрунтованого аналізу параметрів структур світіння виконується комп'ютерна обробка отриманих зображень. Визначення кількісних характеристик яскравості зображення газорозрядного світіння води забезпечує підвищення достовірності оцінки її біологічної активності.

Для зображень газорозрядного випромінювання досліджуваних об'єктів формують гістограми яскравості пікселів, для яких встановлено відповідності яскравостей зонам їх однорідних структур типових профілів зображень внутрішнього кільця з радіально спрямованими стримерами, які утворюють середнє кільце та тонкі люмінесценції.

З метою зниження впливу випадкових факторів на результати вимірювань для кожного досліджуваного зразка води виконується серія експериментів. Узагальнена оцінка для вибірки даних базується на обчисленні значень медіан для певних діапазонів яскравості пікселів. Оцінку у вигляді медіани обрано, оскільки вона є найбільш стійкою щодо суттєвих випадкових викидів, коли експериментальні результати відрізняються від теоретичного нормального розподілу та для їх обробки раціонально скористатися робастними методами. Сформовані вектори зі значеннями медіан яскравості за діапазонами в подальшому використовуються як вхідні дані для процедури кластеризації.

Основна задача, яка вирішується у рамках даної роботи на базі кластерного аналізу [18], полягає у розподілу усієї множини вихідних об'єктів (зображень газорозрядного випромінювання) в однорідні групи. На сьогодні зроблено цілий спектр методів кластерного аналізу, але для їх використання у прикладних галузях необхідно розв'язання нетривіального наукового завдання – виділення з загального обсягу параметрів, властивостей, характеристик дослідних об'єктів саме таких, що забезпечать ефективну класифікацію вхідної множини об'єктів на однорідні підмножини. Таким чином, особливість використання методів кластерного аналізу на практиці потребує у загальній постановці виділення якісних та кількісних ознак при описі об'єктів, що утворюють вхідну множину.

При варіативному підході відбувається розподіл вхідної множини за обраними ознаками. Елементар-

ним випадком є аналіз множини об'єктів за одним єдиним параметром, але, як правило, задачі, що мають прикладний інтерес, являють собою багатовимірний випадок. Наявність декількох ознак-параметрів є комбінаційним групуванням. Таким чином, задача полягає в аналізі вхідної множини, що описується низкою багатовимірних точок однорідних підмножин, тобто базується на дослідженні властивостей багатовимірного простору. Такий метод має назву структурного підходу, що у ряді випадків може характеризуватися геометричною інтерпретацією, сенс якої полягає у використанні поняття відстані між об'єктами та класами.

Нехай $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина з n рідиннофазних об'єктів (зразків води з різними біологічними властивостями), зображення газорозрядного випромінювання яких характеризуються m ознаками. Тоді кожний досліджуваний об'єкт виступає як точка у m -вимірному просторі ознак. В загальному випадку вхідні дані для кластерного аналізу зображень випромінювання аналітично представляємо у вигляді матриці розміром $m \times n$:

$$X_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^m & x_2^m & \dots & x_n^m \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Матриця вигляду (1) має назву матриця «об'єкт – властивість», елементи якої x_i^j виступають кількісною оцінкою t -ї ознаки i -го об'єкту. У кожному i -му стовпчику записані параметри досліджуваного об'єкту x_i . Геометричний сенс кожного об'єкта – це точка m -вимірного простору ознак $\Gamma^m(X)$.

Вхідні дані можуть бути представлені також на базі опису взаємних відстаней між об'єктами вхідної множини:

$$d_{n \times n} = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де d_{ij} – відстань (метрика) об'єктів x_i та x_j між собою. Іншою формою представлення є використання протилежної за змістом матриці, що характеризує близькість об'єктів. Перехід від матриці відстаней до матриці близькості виявляється елементарним, тому у спеціальній літературі вводиться одне загальне позначення функції близькості або віддаленості, а замість відповідних матриць використовується так звана матриця «об'єкт – об'єкт».

5. Результати досліджень біологічних властивостей води на основі параметризації та класифікації зображень газорозрядного випромінювання

З урахуванням розглянутих позначень проблема кластерного аналізу зображень газорозрядного випромінювання полягає у розбитті однорідних класів вхідної експериментальної множини зображень

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, представлених у вигляді «об’єкт – властивість». Приклад реальних даних для аналізу наведений у табл.1. Кількість оброблених вибірок реальних даних за об’ємом значно перевищує представлений у табл. 1 обсяг матеріалу, тому виходить за рамки можливостей відображення у публікації.

Матриця виду (2) повністю описує геометричну структуру множини об’єктів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, однак координати відповідних точок залишаються невідомими. У варіанті представлення вхідних даних задачі кластеризації у вигляді (1) – це вектори-стовпчики, що є геометричними координатами спостереження $\rho(x_i, x_j)$ жень у m – вимірному просторі ознак. Визначеність з використанням конкретної метрики для оцінки віддаленості або близькості об’єктів є основою для встановлення однорідності груп об’єктів.

Зазвичай близькість об’єктів вхідної множини встановлюється шляхом порівняння значення функції $\rho(x_i, x_j)$, $x_i, x_j \in X$, $i, j = 1, n$ з певним пороговим значенням. Функція в залежності від варіанту розв’язання задачі кластеризації виступає мірою віддаленості або близькості об’єктів. Оцінка числових значень величини ρ_{ij} можлива тільки в тому випадку, коли задано усі координати точок $\{X_i, i = 1, n\}$.

Таблица 1

Значення медіан у піддіапазонах g ; гістограми яскравості пікселів зображень газорозрядного випромінювання зразків води

№ пп	1	2	3	4	5	6
	стічна	стічна	природна	природна	стічна	природна
d1	0	1	0	0	1	0
d2	158	147	0	10	147	0
d3	16091	24073	1538	1952	24073	1739
d4	23862	20021	3699	3791	20021	2977
d5	6364	6424	2823	2644	6424	2644
d6	6659	7491	3888	3614	7491	3031
d7	4955	6480	7639	7518	6480	7210
d8	4117	3764	15927	16427	3764	18059
d9	3980	3626	15411	12912	3626	16375
d10	12158	10631	49012	56271	10631	42476
d11	21749	21092	23143	16521	21092	17398
d12	0	3	5	5	3	0

Оскільки вхідні дані у вигляді зображень газорозрядного випромінювання містять невизначеність, обумовлену впливом зовнішніх неінформативних факторів як стохастичної, так і детермінованої природи, то раціональним підходом є вибір таких алгоритмів кластеризації, що базуються на вхідних даних у вигляді сукупності об’єктів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, структуру якої можна охарактеризувати нечіткістю. Вона складається з груп об’єктів A^1, \dots, A^c , які аналітично можна описати у вигляді нечітких множин з функціями приналежності:

$$\mu_{A^l}(x_i), l = \overline{1, c}; i = \overline{1, n} \text{ або } \mu_{\mu_l}, l = \overline{1, c}; i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Для нечіткої кластеризації використаний алгоритм Беждека-Данна (*Fuzzy ISODATA algorithm, FCM algorithm*) [19, 20]. Кластерний аналіз полягає у розв’язанні оптимізаційної задачі:

$$Q(P) \rightarrow \min.$$

Якщо вхідні дані представлено у вигляді матриці «об’єкт – властивість» $X_{m \times n} = [x_i^t]$, $i = 1 \dots n, t = 1 \dots m$, то функціонал якості розподілу на класи визначається залежністю:

$$Q(P) = \sum_{l=1}^c \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^m g(\rho(x_i, \mu_{li})) d(x_i, \tau^l),$$

де g – певний функціонал; $\rho(x_i)$ – апіорна вага для кожної точки x_i при виконанні умови $\sum_{i=1}^n \rho(x_i) = 1$; μ_{li} –

функція приналежності елементу $x_i \in X$ деякому нечіткому кластеру $A^l \in \{A^1, \dots, A^c\}$; $d(x_i, \tau^l)$ – функція, що визначає відстань від елементу $x_i \in X, i = 1, \dots, n$ до деякого елемента $\tau^l, \tau^l \in X, l = 1, \dots, c$. Обмеження виступають у якості умов:

$$\mu_{li} \geq 0, \sum_{l=1}^c \mu_{li} = 1, i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, c.$$

Функціонал Дж. Беждека-Дж. Данна представляє собою зважений критерій якості розбиття [20]:

$$Q(P) = \sum_{l=1}^c \sum_{i=1}^n \mu_{li}^\gamma d(x_i, \tau^l),$$

де γ – показник нечіткості класифікації.

Критерій якості кластеризації використовується з урахуванням залежностей:

$$g(\rho(x_i), \mu_{li}) = \frac{\mu_{li}^\gamma}{n}, \quad 1 \leq \gamma \leq \infty,$$

$$\tau^l = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{li}^\gamma \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{li}^\gamma}.$$

Алгоритм, що оптимізує функціонал Дж. Беждека-Дж. Данна, називається методом нечітких c -середніх (*fuzzy c-means*) та являє собою параметричне сімейство за γ при фіксованій кількості кластерів.

У якості метрики – функції відстані у функціоналі $Q(P)$ – використовується квадрат евклідової норми у m -вимірному просторі ознак $\Gamma^m(X)$:

$$d(x_i, \tau^l) = \|x_i - \tau^l\|^2.$$

Кластерний аналіз реалізується шляхом розв’язання наступної задачі класифікації:

$$P^* = \arg \min_P \left\{ \begin{array}{l} Q_l(P): P = (A^1, \dots, A^c), A^l = \mu_{1l}, \dots, \mu_{nl}, 0 \leq \mu_{li} \leq 1; \\ \sum_{l=1}^c \mu_{li} = 1, \sum_{i=1}^n \mu_{li} > 0, i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, c; \end{array} \right.$$

де c – кількість нечітких кластерів у шуканому розбитті P^* ; γ – показник нечіткості класифікації.

Реалізація алгоритму нечіткої класифікації виконується за наступними етапами:

1) Для значення лічильнику ітерацій $k=0$ обираємо початкове наближення у вигляді розподілу $P_{(0)} = (A_{(0)}^1, \dots, A_{(0)}^c)$ на c нечітких класів. $P_{(0)}$ представляється c непустими функціями приналежності у вигляді масивів:

$$\{\mu_{(0)1}, \dots, \mu_{(0)n}\}, \mu_{(0)i} = (\mu_{(0)i1}, \dots, \mu_{(0)ci}), \mu_{(0)li} \geq 0, \sum_{l=0}^c \mu_{(0)li} = 1.$$

Оскільки описані масиви складаються з n c -вимірних стовпчиків, то матриця початкового розбиття $P_{(0)}$ налічує c рядків та n стовпчиків.

2) Будується k -е розбиття $P_{(k)}$, яке має вигляд:

$$\{\mu_{(k)1}, \dots, \mu_{(k)n}\}, \mu_{(k)i} = (\mu_{(k)i1}, \dots, \mu_{(k)ci}), \mu_{(k)li} \geq 0, \sum_{l=0}^c \mu_{(k)li} = 1.$$

що також характеризується розмірністю з n c -вимірних стовпчиків.

Далі обчислюється набір центрів $\tau_{(k)}^1, \dots, \tau_{(k)}^c$ на основі виразу:

$$\tau_{(k)}^c = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{(k)li}^{\gamma} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{(k)li}^{\gamma}}, l=1, \dots, c.$$

3) Отримаємо $(k+1)$ -е розбиття $P_{(k+1)}$, що представлено у вигляді масиву:

$$\{\mu_{(k+1)1}, \dots, \mu_{(k+1)n}\}, \mu_{(k+1)i} = (\mu_{(k+1)i1}, \dots, \mu_{(k+1)ci}),$$

$$\mu_{(k+1)li} \geq 0, \sum_{l=0}^c \mu_{(k+1)li} = 1,$$

розмірність якого становить n c -вимірних стовпчиків.

Розбиття $P_{(k+1)}$, синтезоване на базі набору центрів $\tau_{(k)}^1, \dots, \tau_{(k)}^c$ з урахуванням наступних оцінок функцій приналежності, що описують нечіткість:

$$\mu_{(k+1)} = \arg \min \left\{ \sum_{i=1}^c \mu_i^{\gamma} \|x_i - \tau_{(k)}^i\|^2 : \mu = \mu_1, \dots, \mu_c, \mu_l \geq 0, \sum_{l=1}^c \mu_l = 1 \right\}.$$

Таким чином, якщо $I_{(k)}(x) = \{l, 1 \leq l \leq c : \|x_i - \tau_{(k)}^l\| = 0\}$, то

$$I_{(k)}(x) = \emptyset, \mu_{(k+1)li} = \left(\sum_{a=1}^c \left(\frac{\|x_i - \tau_{(k)}^a\|}{\|x_i - \tau_{(k)}^l\|} \right)^{\frac{2}{\gamma-1}} \right)^{-1},$$

$$I_{(k)}(x) \neq \emptyset, \mu_{(k+1)li} = 0, l \neq I_{(k)}(x); \sum_{i \in I_{(k)}(x)} \mu_{(k+1)li} = 1.$$

4) Обчислюється деяке порогове значення $\epsilon > 0$, що надалі використовується у процедурі порівняння $P_{(k)}$ з згідно правилу:

$$\|P_{(k)} - P_{(k+1)}\| = \max_{li} |\mu_{(k)li} - \mu_{(k+1)li}|.$$

Нарощування ітерацій призупиняється і алгоритм завершується при виконанні умови:

$$\|P_{(k)} - P_{(k+1)}\| < \epsilon.$$

Виконується переприсвоєння значення остаточного розбиття у вигляді $P^* = P_{(k)}$. Якщо умова не виконана, починається наступна $k := k+1$ ітерація, повертаючись до кроку 2.

Результати використання алгоритму нечіткого кластерного аналізу до вхідних даних у вигляді кількісної оцінки медіан гістограм яскравості для зображень газорозрядного випромінювання (табл. 1) мають наступний вигляд:

$$\text{class1} = \begin{matrix} 1 & 2 & 5 \end{matrix}$$

$$\text{class2} = \begin{matrix} 3 & 4 & 6. \end{matrix}$$

Порівняння отриманих результатів з вхідними даними, представленими у табл. 1, підтверджує вірну класифікацію за типами води з різними біологічними властивостями. Зразки стічної води, розраховані кількісні параметри яких розташовано у стовпчиках таблиці з порядковими номерами 1, 2 та 5, за результатами виконання алгоритму нечіткої кластеризації віднесено до класу 1. Що стосується зразків природної води з такими біологічними властивостями, які є корисними для організму людини, то за результатами кластерного аналізу вони потрапили у клас 2 (відповідно до стовпчиків табл. 1, позначених під номерами 3, 4 та 6).

6. Обговорення результатів практичного використання розробленого методу експрес-оцінки біологічних властивостей води на основі кластерного аналізу

Природна вода має специфічні особливості, як структурні, так і ті, що проявляються в окремих властивостях, які піддаються кількісному аналізу. Характерною особливістю природної води, як когерентної речовини, є значний відгук на зовнішній вплив. При реєстрації картини газорозрядного випромінювання це проявляється у збільшенні загальної площі корони світіння. В цілому для води з природних джерел, на відміну від зразків стічної, притаманний монотонний характер графіку гістограми яскравості пікселів, що підтверджується даними табл. 1. За даними цієї ж таблиці для зразків забрудненої стічної води спостерігається суттєвий локальний екстремум у вигляді максимуму функції розподілу яскравості в інтервалах 3 та 4.

Інтерпретація та аналіз зображень газорозрядного випромінювання може проводитися людиною-експертом, але оцінки, отримані у такий спосіб, мають якісний характер та обов'язково містять вклад суб'єктивного фактору.

Виділення кількісних ознак (паттернів), зокрема при побудові гістограми яскравості пікселів, забезпечує об'єктивну параметризацію зображень. Виділення набору векторів-медіан для діапазонів яскравості

виявляється більш інформативним методом аналізу зображень, ніж оцінка зразка за одним показником, наприклад фрактальною розмірністю.

На прикладі обробки реальних даних для двох типів води з різними біологічними властивостями (стічної та природної) показано ефективність методу нечіткого кластерного аналізу для класифікації зразків води за параметрами зображень їх газорозрядного випромінювання.

Слід підкреслити, що метод дослідження властивостей води шляхом реєстрації газорозрядного випромінювання не можна розглядати як той, що повністю замінить класичні методи фізико-хімічного аналізу, що забезпечують отримання кількісних оцінок стандартних фізичних параметрів та хімічного складу води або водного розчину.

Перевагою запропонованого методу є можливість експрес-оцінки біологічних властивостей води, тому він може бути використаний в системах екологічного моніторингу.

7. Висновки

Проведено дослідження біологічних властивостей води методом, що передбачає реєстрацію та обробку зображень газорозрядного випромінювання

зразків в електромагнітному полі. Запропоновано для кількісної оцінки специфічних ознак зареєстрованих на рентгенівській фотоплівці картин світіння використання параметризації зображень у вигляді побудови гістограм яскравості пікселів. З метою зменшення впливу випадкових факторів на результати експерименту для кожного досліджуваного зразка води отримано набір зображень випромінювання, для яких оцінено медіани яскравості пікселів у певних діапазонах яскравості.

Значення медіан використано у якості вхідних даних для процедури нечіткого кластерного аналізу, який забезпечує автоматичну класифікацію зразків води з різними біологічними властивостями.

Виявлені специфічні параметри структурних особливостей зображень газорозрядного випромінювання дозволяють ефективно реалізувати алгоритми нечіткої кластеризації.

Практична значущість використання запропонованих методів та алгоритмів цифрової обробки зображень газорозрядного випромінювання підтверджено на базі аналізу експериментальних даних для зразків природної та стічної води. Показано, що параметризація зображень шляхом обчислення медіан яскравостей за діапазонами виступає достовірним критерієм для оцінки біологічних властивостей води.

Література

1. Kuharski, R. A. A Quantum Mechanical Study of Structure in Liquid H₂O and D₂O [Text] / R. A. Kuharski, P. J. Rossky // The Journal of Chemical Physics. – 1985. – Vol. 82, Issue 11. – P. 5164–5177. doi: 10.1063/1.448641
2. Habershon, S. Competing Quantum Effects in the Dynamics of a Flexible Water Molecule [Text] / S. Habershon, T. E. Markland, D. E. Manolopoulos // The Journal of Chemical Physics. – 2009. – Vol. 131, Issue 2. – P. 234–241. doi: 10.1063/1.3167790
3. Краснобрыжев, В. Г. Квантовые эффекты в природной воде [Текст] / В. Г. Краснобрыжев, М. В. Курик // Квантовая Магия. – 2010. – Т. 7, № 4. – С. 4132–4138.
4. Zeidler, A. Oxygen as a Site Specific Probe of the Structure of Water and Oxide Materials [Text] / A. Zeidler // Physical Review Letters. – 2011. – Vol. 107, Issue 14. doi: 10.1103/physrevlett.108.259603
5. Reiter, G. F. Anomalous Ground State of the Electrons in Nanoconfined Water [Text] / G. F. Reiter, A. Deb, Y. Sakurai, M. Itou, V. G. Krishnan, S. J. Paddison // Physical review letters. – 2013. – Vol. 111, Issue 3. – Available at: <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.111.036803> doi: 10.1103/physrevlett.111.036803
6. Mayers, J. Spurious indications of energetic consequences of decoherence at short times for scattering from open quantum systems [Text] / J. Mayers, G. Reiter // AIP Advances. – 2012. – Vol. 2, Issue 3. – P. 032137. – Available at: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/adva/2/3/10.1063/1.4746093> doi: 10.1063/1.4746093
7. Tedeschi, A. On the coherent water's edge [Electronic resource] / A. Tedeschi // Conference on the Physics, Chemistry and Biology of Water. – 2014. – Available at: <http://www.waterconf.org/participants-materials/abstracts/Tedeschi.docx>
8. Курик, М. В. Кірліанографічне оцінювання біодоступності речовини [Текст] / М. В. Курик, Л. А. Пісоцька, Н. В. Глухова, А. І. Горова, О. А. Борисовська, А. В. Павлішин // Медична інформатика та інженерія. – 2013. – № 2. – С. 37–41.
9. Arani, R. Qcd coherence and the thermodynamics of water [Text] / R. Arani, I. Bono, E. Del Giudice, G. Preparata // Condensed matter physics; statistical physics; atomic, molecular and optical physics. – 1995. – Vol. 9. – P. 510–532.
10. Bono, I. Emergence of the Coherent Structure of Liquid Water [Text] / I. Bono, E. D. Giudice, L. Gamberale, M. Henry // Water. – 2012. – Vol. 4, Issue 4. – P. 510–532. doi: 10.3390/w4030510
11. Johansson, B. Do quantum state oscillations in natural drinking water benefit human health? [Electronic resource] / B. Johansson // Conference on the Physics, Chemistry and Biology of Water, 2014. – Available at: <http://www.waterconf.org/participants-materials/abstracts/Johansson.pdf>
12. Ignatov, I. Water in the Human Body is Informational Bearer about Longevity [Electronic resource] / I. Ignatov, O. Mosin. – Sofia, Bulgaria, 2012. – Available at: <http://www.medicalbiophysics.dir.bg/en/longevity.html>
13. Marinov, M. Color Coronal (Kirlian) Spectral Analysis. Color Observation with Visual Analyzer, International [Text] / M. Marinov, I. Ignatov // Medical Congress EUROMEDICA, European Academy of Natural Sciences. – Hanover, 2008. – P. 57–59.
14. Thirumal, A. Kirlian Photography ... a novel concept [Text] / A. Thirumal // Homoeo Times. – 2005. – Vol. 2. – P. 14–22.

15. Песоцкая, Л. А. Анализ изображений кирлиановского свечения капель воды [Текст] / Л. А. Песоцкая, Н. В. Глухова, В. Н. Лапицкий // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. – № 1. – С. 91–96.
16. Спосіб експрес-оцінки стану рідиннофазного об'єкта. Пат. на кор. модель 86701 Україна: МПК G-1N 21/17 [Текст] / Глухова Н. В., Пісоцька Л. А., Горова А. І. – заявл. 25.06.2013; опубл. 10.01.2014.
17. Спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідинно фазного об'єкту і пристрій для його здійснення. Пат. на кор. модель 22212 Україна [Текст] / Пісоцька Л. А., Лапицький В. М., Боцман К. І., Герашенко С. В.. – заявл. 17.04.06; опубл. 50.04.07.
18. Everitt, B. S. Cluster Analysis. 5 edition [Text] / B. S. Everitt, S. Landau, M. Leese, D. Stahl. – Wiley; 2011. – 346 p.
19. Nock, R. On Weighting Clustering [Text] / R. Nock, F. Nielsen // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2006. – Vol. 28, Issue 8. – P. 1–13.
20. Bezdek, C. J. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms [Text] / C. J. Bezdek. – Plenum New York, 1981. – 284 p. doi: 10.1007/978-1-4757-0450-1

У статті приведено результати дослідно-промислових випробувань технології виплавки феросиліцію методом електрошлакового переплаву із використанням у шихті брикетів із аспіраційного пилу та пилу, що уловлюється газоочисною установкою. Застосування способу брикетування та подальше додавання брикетів до шихти при виплавці феросиліцію дозволяє утилізувати пилові відходи, ліквідувати вторинні джерела забруднення навколишнього середовища та знизити викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Ключові слова: пил, відходи, брикети, виплавка феросиліцію, печі постійного струму, екологічна безпека

В статье приведены результаты опытно-промышленных испытаний технологии выплавки ферросилиция методом электрошлакового переплава с использованием в шихте брикетов из аспирационной пыли и пыли, улавливаемой газоочистной установкой. Применение способа брикетирования и дальнейшее добавление брикетов к шихте при выплавке ферросилиция позволяет утилизировать пылевые отходы, ликвидировать вторичные источники загрязнения окружающей среды и снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Ключевые слова: пыль, отходы, брикеты, выплавка ферросилиция, печи постоянного тока, экологическая безопасность

УДК 504.064.4:669.15-198

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29968

ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛІЦІЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА

О. Л. Проценко

Аспірант, науковий співробітник*

E-mail: Elana_eco88@mail.ru

Т. Ф. Жуковський

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач лабораторії*

E-mail: gtf@niiep.kharkov.ua

С. Л. Борисенко

Директор

Стахановська виробнича дільниця товариства із

обмеженою відповідальністю

фірма «Екологічна ініціатива»

вул. Терешкової, 29, м. Алмазна,

Луганська обл., Україна, 94095

E-mail: ecina@inbox.ru

*Лабораторія аналізу охорони атмосферного повітря,

розробки нормативної документації та

еколого-енергетичного аудиту

Науково-дослідна установа «Український науково-

дослідний інститут екологічних проблем»

вул. Леніна, 6, м. Харків, Україна, 61166

1. Вступ

У металургії феросплавів за об'ємом виробництва перше місце займає феросиліцій [1, 2]. В Україні феросиліцій виробляють електротермічним способом у дугових печах змінного струму, в основному, на ПуАТ «Стахановський завод феросплавів» (Україна) [3], а

також методом електрошлакового переплаву (ЕШП) у печах постійного струму на Стахановській виробничій дільниці товариства із обмеженою відповідальністю фірма «Екологічна ініціатива» (СВД ТОВ фірма «ЕКІ-НА», м. Алмазна, Луганська область) [4].

У районі розташування феросплавних підприємств особливо гостро стоїть питання забруднення атмос-