

УДК 004.932; 537.523.9

Й. Й. Білинський, д-р техн. наук, проф.;

О. А. Павлюк, асп.

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ЧИСТОТИ РІДИННОФАЗНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Запропоновано для дослідження ступеня чистоти рідиннофазних об'єктів використати геометричні параметри зображень стримерів, які дозволяють визначити їх центр області подібності. Це дає змогу підвищити достовірність результатів дослідження. Запропоновано метод визначення центру області подібності, наведено результати експериментальних досліджень, які підтверджують можливості такого підходу.*

### Вступ

Забезпечення населення якісною водою для різних видів діяльності є одним з пріоритетних напрямків, що гарантує безпеку населення як України, так і інших країн. На жаль, з кожним роком якість води в колодязях, свердловинах, річках, ставках та інших водоймах знижується. Це призводить до зростання захворюваності населення та створює побутові проблеми [1]. У зв'язку з цим дослідження якості води є актуальною задачею. Однак дослідження води на вміст багатьох видів домішок є тривалим процесом, який часто потребує великих матеріальних та часових затрат а також транспортування проби в лабораторію. Тому на сьогодні залишається актуальним дослідження ступеня чистоти рідиннофазних об'єктів (РФО), зокрема ступеня чистоти води шляхом розробки пристрою для швидкого експрес-аналізу.

Одним з перспективних методів дослідження РФО є метод газорозрядної візуалізації (ГРВ), суть якого полягає в тому, що до РФО прикладається високовольтна і високочастотна напруга, внаслідок чого навколо РФО спостерігається світіння, характеристики якого безпосередньо залежать від хімічного складу РФО [2]. Тому *метою роботи* є розробка пристрою для швидкого експрес-аналізу ступеня чистоти (РФО) на основі методу ГРВ.

### Основна частина

Обробка зображень, отриманих за допомогою ГРВ, проводиться в переважній більшості шляхом аналізу світіння об'єкта. При цьому визначаються такі параметри, як відношення внутрішньої і зовнішньої площі світіння до площі досліджуваного об'єкта, відношення різниці площ внутрішнього і зовнішнього світіння до загальної площі світіння і площі об'єкта, визначення кількості елементів, що входять до внутрішнього і зовнішнього світіння, середня фрактальна розмітність, кількість нульових перетинів у внутрішній і зовнішній частинах світіння тощо [3, 4]. На ГРВ зображеннях аналізуються світіння навколо РФО в цілому, що ускладнює аналіз РФО. Але мало уваги приділялося таким важливим елементам світіння, як стримери, які являють собою суперпозиції в часі окремих газових розрядів [5]. Саме по стримерах протікає більша частина заряду, що проходить через РФО, а, отже, і більша частина іонів, що утворюються при ГРВ, які відображають хімічний склад РФО, на основі чого можна зробити висновок про його чистоту (концентрацію домішок).

На сьогодні недоліком будь-якого дослідження з використанням ГРВ є низька достовірність і повторюваність результатів, пов'язана з високою чутливістю газового розряду до мінімальних змін як навколишнього середовища, так і змін в параметрах прикладеної напруги. Таким чином, використання ГРВ для визначення ступеня чистоти РФО потребує знаходження таких параметрів ГРВ, значення яких будуть повторюватись. У зв'язку з цим в роботі запропоновано метод дослідження ГРВ-зображення РФО на основі дослідження геометричних параметрів зображень стримерів. На основі експериментальних досліджень встановлено, що таким інформативним параметром може бути центр області подібності стримерів одного зображення ГРВ.

Для знаходження центру області подібності стримерів в роботі запропоновано метод, який включає:

1. Формування ГРВ-зображення об'єкта дослідження за допомогою ГРВ пристрою;
2. Цифрова фільтрація зображення;
3. Виділення на зображенні стримерів та їх нормалізація;
4. Розрахунок інформативних параметрів стримерів та області подібності.

На основі запропонованого методу проведено експериментальні дослідження та отримано ГРВ зображення РФО, проведено його цифрову обробку, яка включала низькочастотну фільтрацію та лінеаризацію гістограми, після чого виконувалося виділення одиничних стримерів та зведення їх до нормалізованого вигляду (створено серію зображень, на яких представлено по одному стримеру, що однаково орієнтовані). ГРВ зображення РФО, відфільтроване зображення, та отримані нормалізовані стримери наведені на рис. 1 та 2.

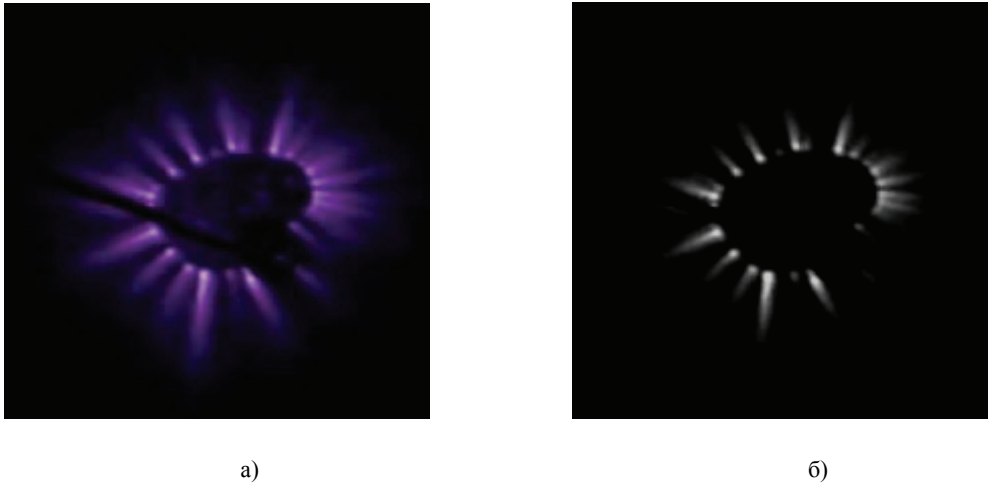


Рис. 1. ГРВ зображення РФО: а — вхідне зображення, отримане з камери; б — зображення після фільтрації, порогової обробки та еквалізації

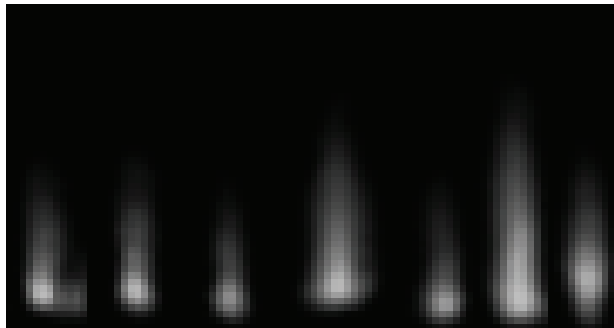


Рис. 2. Зображення нормалізованих стримерів РФО

На основі аналізу зображень нормалізованих стримерів встановлено, що інтенсивності центральних перерізів стримерів наростають та спадають за експоненціальним законом, тому їх можна описати як

$$I_3 = I_1 e^{k_1 n}; \quad (1)$$

$$I_C = I_2 e^{k_2 n}, \quad (2)$$

де  $I_3$  — значення інтенсивності  $n$ -го пікселя для  $L_3$ ;  $I_C$  — значення інтенсивності  $n$ -го пікселя для  $L_C$ .

В результаті проведених експериментів встановлено емпіричну модель опису інтенсивності центрального перерізу стримера:

$$I = \frac{B}{n^3 \left( \exp\left(\frac{A}{n}\right) - 1 \right)}, \quad (3)$$

де  $I$  — інтенсивність пікселя в градаціях сірого;  $n$  — номер пікселя від початку стримера;  $A, B$  — енергетичні коефіцієнти стримера, які визначаються в результаті його апроксимації. При цьому коефіцієнт  $A$  може приймати значення в діапазоні від 0,03474 до 0,06949, а коефіцієнт  $B$  — від 166455 до 832275 [6].

Використовуючи зображення нормалізованих стримерів, проведено розрахунок інформативних параметрів, які визначались на основі аналізу центральних перерізів інтенсивностей стримерів (рис. 3).

До інформативних параметрів відносяться:

$I_{\max}$  — максимальне значення інтенсивності центрального перерізу стримера;

$L_3$  — кількість пікселів від першого пікселя з інтенсивністю вище рівня шуму до пікселя з максимальною інтенсивністю  $I_{\max}$ ;

$L_c$  — кількість пікселів від пікселя з максимальною інтенсивністю  $I_{\max}$  до першого пікселя, інтенсивність якого дорівнює шумовій;

$I_1$  — оптимальне значення інтенсивності центрального перерізу стримера для частини  $L_3$ ;

$I_2$  — оптимальне значення інтенсивності центрального перерізу стримера для частини  $L_c$ ;

$k_1$  та  $k_2$  — коефіцієнти зростання і спадання яскравості центрального перерізу стримера.

В якості інформативного параметра запропоновано використати  $R$  — відношення довжини стримера  $L$  до його ширини  $d$  залежно від рівня градації  $a$ , тобто його  $N$ -го номера зрізу. З метою використання такого параметра проведено серію експериментів та отримано зображення стримерів, які аналізувались таким чином: на кожному рівні градації стримера визначалась його ширина і довжина та будувались відповідні характеристики. Залежності довжини і ширини стримерів 4-х досліджуваних РФО від номера зрізу показані на рис. 4 та 5.

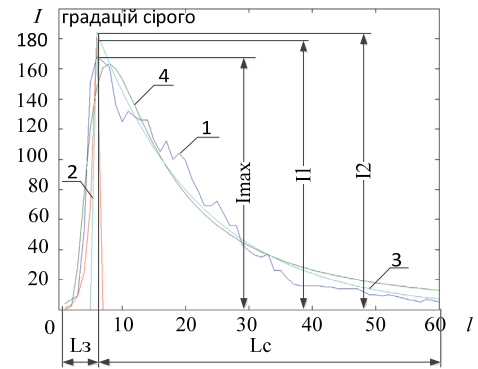


Рис. 3. Розподіл інтенсивності центрального перерізу стримера та його характеристики: 1 — розподіл інтенсивності центрального перерізу; 2 — інтенсивність наростання; 3 — інтенсивність спадання; 4 — апроксимована характеристика

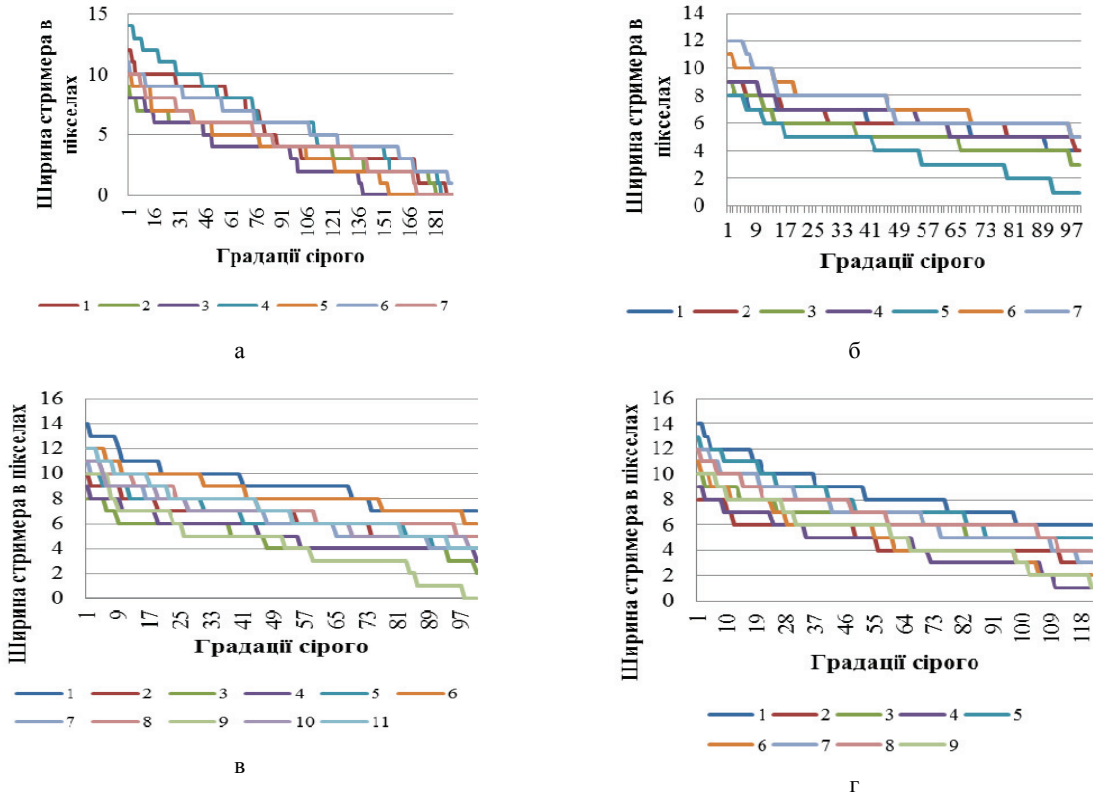


Рис. 4. Залежності ширини стримерів від номера зрізу: а — 1-го РФО; б — 2-го РФО; в — 3-го РФО; г — 4-го РФО; 1—11 порядковий номер стримера для кожного РФО

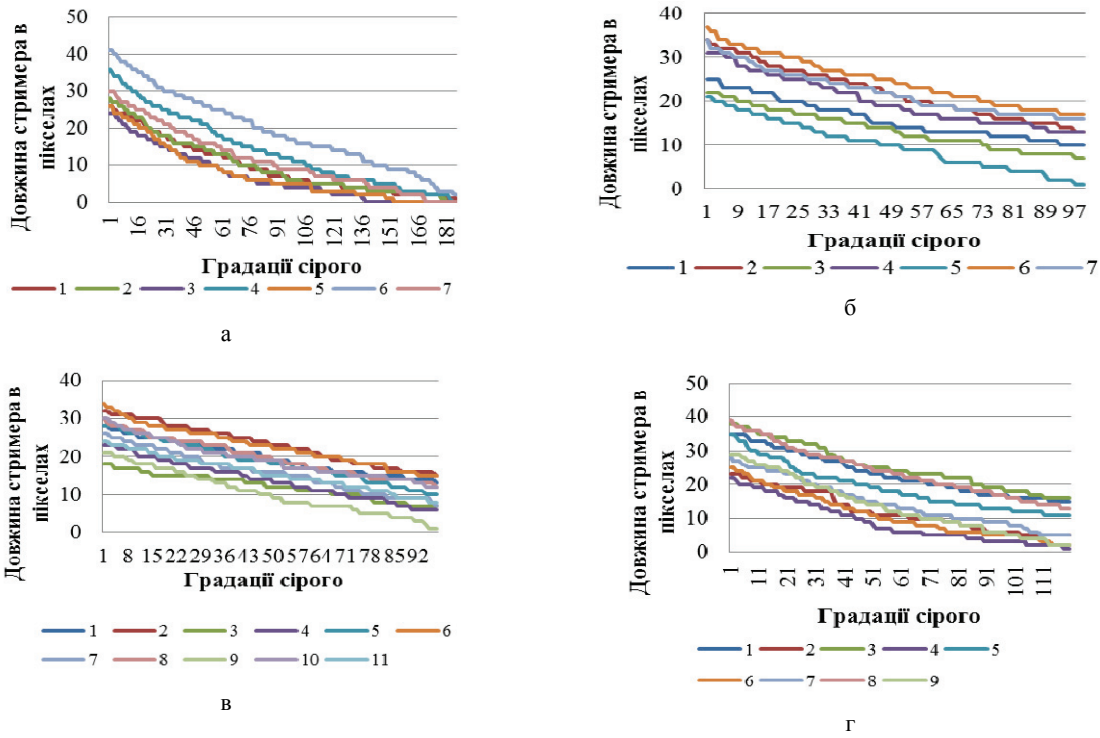


Рис. 5. Залежності довжини стримерів від номера зрізу: а — 1-го РФО; б — 2-го РФО; в — 3-го РФО; г — 4-го РФО; 1—11 — порядковий номер стримера для кожного РФО

Для розуміння розподілу інтенсивності по площині зображення нормалізованого стримера представлено тривимірними графіками за різних значень номера зрізу (рис. ба—в) та без зрізу (рис. бг).

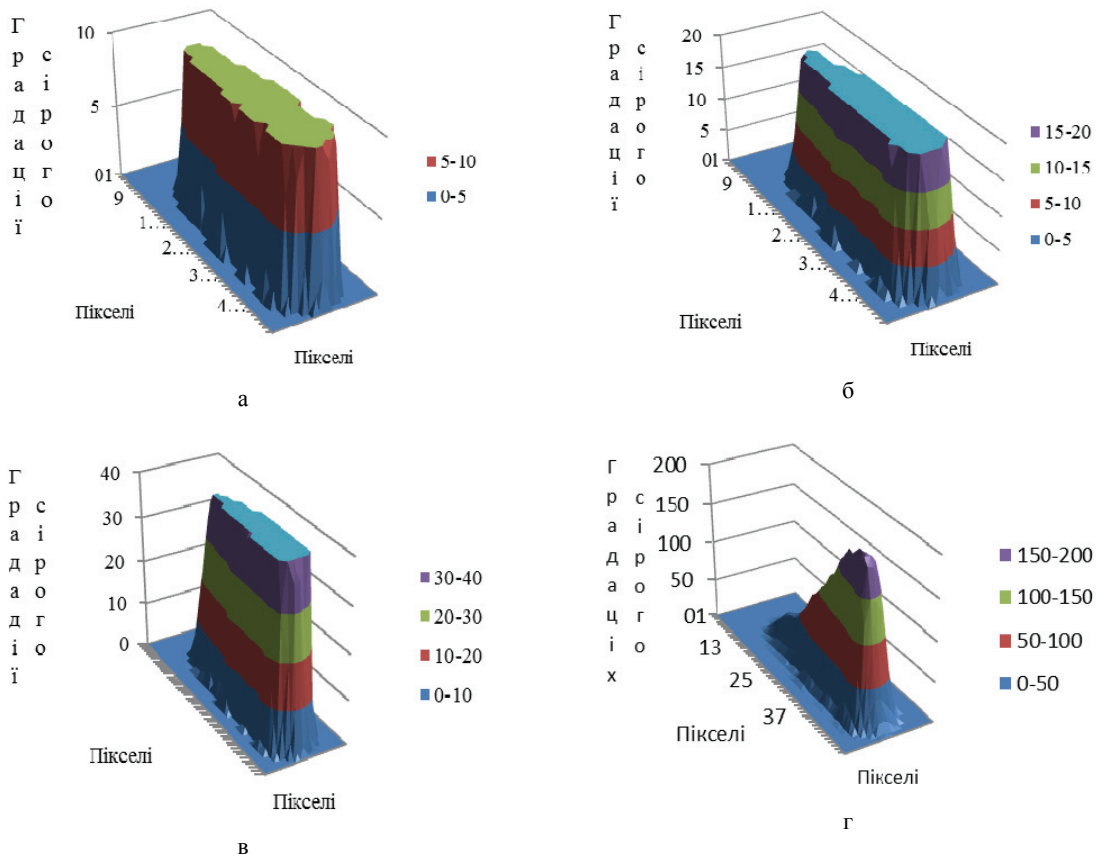


Рис. 6. Розподіл інтенсивності стримера для рівнів: а — № 10; б — № 20; в — № 40 ; г — розподіл інтенсивності стримера по зображенню

На основі даних, показаних на рис. 4—5, отримано графіки залежності параметра  $R$  за різних значень номера зрізу для 4-х РФО.

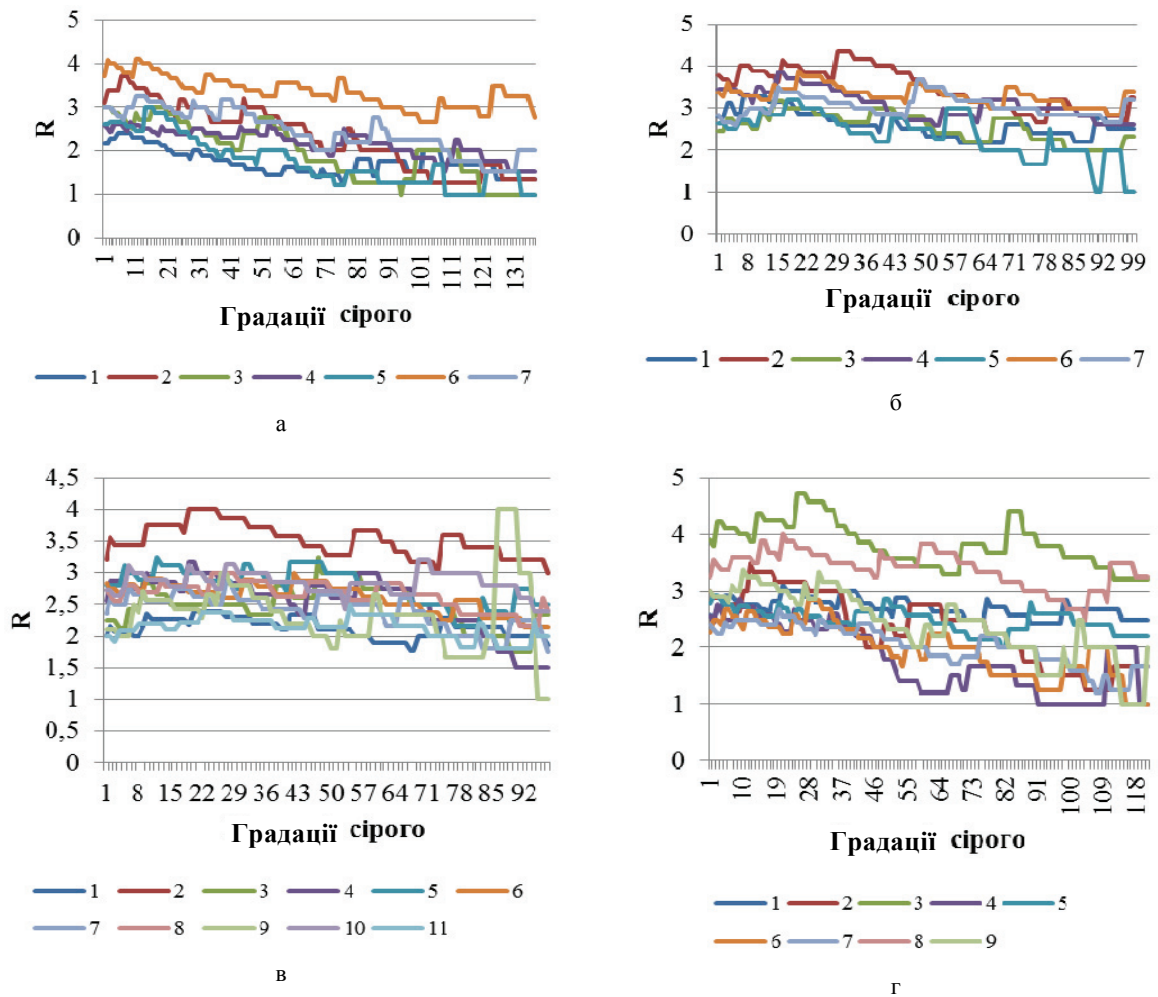


Рис. 7. Залежність параметра  $R$  від номера зрізу для стримерів: а) 1-го РФО; б) 2-го РФО; в) 3-го РФО; г) 4-го РФО; 1—11 — порядковий номер стримера для кожного РФО

Як видно з рис. 7, значення  $R$  для різних зображень нормалізованих стримерів одного РФО за певного значення номера зрізу знаходяться в одній області — області подібності стримерів, яка має ширину  $w$ . Для знаходження центру області подібності запропоновано метод, який включає:

1. Отримання зображень  $Z_1, Z_2 \dots Z_n$  нормалізованих стримерів для одного РФО, де  $Z_i$  — чорно-біле зображення нормалізованого  $i$ -го стримера, представлене у вигляді двовимірного масиву інтенсивностей,  $n$  — кількість зображень нормалізованих стримерів;

2. Отримання серії зрізів  $Z_{11}, Z_{12} \dots Z_{1a_{\max}}$  і  $Z_{21}, Z_{22} \dots Z_{2a_{\max}} \dots Z_{n1}, Z_{n2} \dots Z_{na_{\max}}$  за рахунок виконання порогової обробки зображень  $Z_1, Z_2 \dots Z_n$  з одиничним квантованим рівнем від рівня квантування, що відповідає 1 до  $a_{\max}$ , де  $a_{\max}$  — максимальна величина інтенсивності, що присутня на всіх зображеннях.

$$Z_{ia}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Z_i(x, y) \geq a; \\ 0, & \text{якщо } Z_i(x, y) < a; \end{cases}$$

3. Визначення на зрізах  $Z_{11}, Z_{12} \dots Z_{1a_{\max}}$  і  $Z_{21}, Z_{22} \dots Z_{2a_{\max}} \dots Z_{n1}, Z_{n2} \dots Z_{na_{\max}}$  ширини  $d_{ia}$  та довжини  $l_{ia}$  і їх відношення за формулою

$$R_{ia} = \frac{l_{ia}}{d_{ia}};$$

4. Задання ширини області подібності  $w$ ;

5. Знаходження середніх значень  $R_{cp\_a}$  та середніх відхилень  $\Delta R_{cp\_a}$

$$R_{cp\_a} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=a-\frac{w}{2}}^{a+\frac{w}{2}} R_{ij}}{wn}; \quad \Delta R_{cp\_a} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=a-\frac{w}{2}}^{a+\frac{w}{2}} |R_{cp\_a} - R_{ia}|}{wn};$$

6. Знаходження центру області подібності  $c$  шляхом визначення градації, за якої  $\Delta R_{cp\_a}$  мінімальне.

$$c = \arg \min_a (\Delta R_{cp\_a}).$$

В табл. 1—4 наведено результати обробки даних запропонованим методом стримерів, параметри яких наведені на рис. 11—14.

Таблиця 1

Результати обробки для 1-го РФО

	w, градацій сірого			
	3	5	9	17
c	22	21	23	24
$R_{cp\_a}$	2,784	2,8343	2,7675	2,7665
$\Delta R_{cp\_a}$	0,3476	0,3567	0,3829	0,412

Таблиця 2

Результати обробки для 2-го РФО

	w, градацій сірого			
	3	5	9	17
c	13	13	15	15
$R_{cp\_a}$	3,2068	3,2466	3,3187	3,2854
$\Delta R_{cp\_a}$	0,2559	0,2703	0,2868	0,3154

Таблиця 3

Результати обробки для 3-го РФО

	w, градацій сірого			
	3	5	9	17
c	68	69	69	15
$R_{cp\_a}$	2,5123	2,5119	2,5096	2,755
$\Delta R_{cp\_a}$	0,2365	0,251	0,2684	0,3011

Таблиця 4

Результати обробки для 4-го РФО

	w, градацій сірого			
	3	5	9	17
c	10	11	10	10
$R_{cp\_a}$	2,9878	3,0074	2,9884	2,9794
$\Delta R_{cp\_a}$	0,4118	0,423	0,4311	0,4495

Як видно з табл. 1—4, середнє значення  $R$  для стримерів одного об'єкта в центрі області подібності має відносне відхилення в діапазоні від 8 до 16 %, а самі центри  $c$ , знайдені за різних значень  $w$ , є близькими. Це дозволяє підтвердити подібність даних стримерів. У випадку сталої прикладеної напруги до РФО довжина і ширина стримерів залежить від концентрації рівня домішок в об'єкті, а, отже,  $R$  і центр області подібності  $c$  залежать від концентрації рівня домішок в РФО. Така закономірність дозволяє створити скрінгову систему якісної експрес-діагностики РФО за принципом «норма/відхилення». Така система дає можливість визначити шляхом експрес-аналізу якість води та ступінь її мінералізації.

### Висновки

Для дослідження ступеня чистоти рідиннофазних об'єктів методом газорозрядної візуалізації запропоновано використати центр області подібності зображення стримерів РФО. Експериментально встановлено, що центр області подібності однаковий для стримерів одного і того ж РФО. Це дало змогу підвищити достовірність результату та досягти його повторюваності, використовуючи метод ГРВ. Запропоновано метод для визначення центру області подібності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарабарова С. Б. Качество питьевой воды в Украине: современное состояние, влияние на здоровье, сравнительная характеристика отечественной базы с международными стандартами [Электронный ресурс] / С. Б. Тарабарова // Режим доступа : <http://www.health.gov.ua/Publ/conf.nsf/0/d6b696f2be5e65d6c2256dc6004995f4?OpenDocument>.
2. Техника ГРВ биоэлектрографии / [К. Г. Коротков, Б. А. Крылов, О. И. Белобаба та ін.] // СПб. : СПб ГУИТМО, 2001. — 356 с.
3. Xanadu C. Halkias. Analysis of kirlian images: feature extraction and segmentation [Электронный ресурс] / Xanadu C. Halkias // Signal Processing, 2004. Proceedings. ICSP '04. 2004 7th International Conference on. — Режим доступа : <http://ru.scribd.com/doc/113932089/Halkias-Maragos-Analysis-of-Kirlian-Images>.
4. Позняк С. С. К вопросу использования характеристик газового разряда, индуцируемого электронно-оптической эмиссией объекта окружающей среды [Электронный ресурс] / С. С. Позняк // Экономика и экологический менеджмент : электронный научный журнал. — 2013. — № 1. — Режим доступа : <http://economics.open-mechanics.com/articles/757.pdf>.
5. Білінський Й. Й. Дослідження характеристик газорозрядної візуалізації зображень рідиннофазних об'єктів / Й. Й. Білінський, О. А. Павлюк, Б. П. Книш // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 5. — С. 206—211.
6. Павлюк О. А. Дослідження параметрів світіння рідиннофазних об'єктів при газорозрядній візуалізації / О. А. Павлюк, Й. Й. Білінський, І. В. Микулка // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. — 2011. — № 9. — С. 118—121.

Рекомендована кафедрою електроніки

Стаття надійшла до редакції 1.10.2013  
Рекомендована до друку 16.10.2013

**Білінський Йосип Йосипович** — завідувач кафедри електроніки; **Павлюк Олександр Анатолійович** — аспірант.

Кафедра електроніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця