

Й. Й. Білинський, д-р. техн. наук, проф.;
О. А. Павлюк, студ.;
Б. П. Книш, студ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ РІДИННОФАЗНИХ ОБ'ЄКТІВ

Удосконалено пристрій газорозрядної візуалізації та наведено алгоритм комп'ютерної обробки зображень газорозрядної візуалізації рідиннофазних об'єктів. Запропоновано низку параметрів, методику їх визначення та комплексний критерій оцінювання стану рідиннофазних об'єктів.

Вступ

Проведені в останні десятиліття дослідження дозволили виявити фізичну сутність процесів газорозрядної візуалізації (ГРВ) та створити принципово новий клас апаратури, що використовує останні досягнення мікроелектроніки, комп'ютерних методів обробки зображень для аналізу багатопараметричних масивів даних. Метод ГРВ знайшов застосування в медицині для скринінгу та моніторингу стану здоров'я, для кількісного визначення рівня стресу і психофункціональної готовності до виконання складної професійної діяльності, для вивчення властивостей рідин і матеріалів [1, 2].

ГРВ зображення отримують внесенням біологічного об'єкта у змінне (з частотою понад 1 кГц) електромагнітне поле з високою напруженістю (близько 20...25 кВ/см), навколо якого з'являється світіння, викликане газовим розрядом між біологічним об'єктом та електродом. Через те, що біологічний об'єкт є частиною електричного кола, він впливає на світіння. Таким чином, аналізуючи зображення розряду, можна визначити стан біологічного об'єкта [3].

На сьогодні проведено ряд досліджень з використанням ГРВ об'єктів широкого призначення, для яких спільним є комплексний біофізичний підхід до накопичення даних на основі аналізу фрактальних зображень [1, 2]. Це є основною відмінністю методу ГРВ від Кірліан-фотографії, оскільки проводиться додаткова комп'ютерна обробка з використанням сучасних математичних методів. На підставі отриманих даних проводиться подальший аналіз або експертна оцінка [4].

Відсутність встановлених стандартів на апаратуру для утворення газового розряду (частота сигналу, його форма, напруга, струм), а також єдиних методів обробки та аналізу зображень стримує діагностичні перспективи методу ГРВ. Тому однакові експерименти, проведені різними дослідниками, не завжди однозначно трактуються, що не дає змогу оцінити стан досліджуваного об'єкта з високою достовірністю.

Метою роботи є підвищення достовірності визначення параметрів ГРВ зображення розробленням критерію оцінювання стану рідиннофазних об'єктів на основі ГРВ зображення.

Основна частина

Одним із основних методів дослідження ГРВ зображень є метод ГРВ-грам. ГРВ-грама — це одиначне зображення газового розряду, зафіксованого в будь-який момент часу експозиції електромагнітного поля в області об'єкта [4]. Поверхневі ГРВ-грами досить складні, тому для виявлення інформації про досліджуваний об'єкт необхідно в першу чергу виявити параметри розряду, які необхідно оцінити. До них відносять:

- параметри, що характеризують розрядні стримери: довжина, кількість, ступінь розгалуження;
- параметри, що характеризують форму газорозрядної фігури: радіус, загальна площа, симетрія, фрактальна розмірність та інші;
- інтегральний струм розряду в різних частотних діапазонах;
- інтегральна інтенсивність світіння розряду;
- спектральний склад випромінювання [5].

При цьому стримером вважається суперпозиція в часі окремих коронних стримерів на півперіодах змінної напруги, тобто інтегральна картина світіння окремих коронних стримерів, що чергуються [6].

Недоліком таких досліджень є неможливість встановлення ідентичності отриманих зображень у різних дослідах, оскільки це пов'язано із зміною параметрів напруги, частоти, стану атмосфери, часу експозиції фотокамери, енергії виходу з об'єкта, наявності на поверхні забруднень, нерівностей країв об'єктів та його шорсткості, дії розряду на самий об'єкт тощо [7].

В роботі запропоновано методику дослідження ГРВ зображень, яка позбавлена низки вищезазначених недоліків, та основана на одночасному дослідженні двох рідиннофазних об'єктів, що знаходяться в однакових умовах. Це дало змогу провести дослідження об'єктів з однаковими та різними параметрами, виконати порівняльний аналіз цих об'єктів, а також вищезазначених параметрів ГРВ-грам і окремих стримерів та запропонувати нові параметри.

Для реалізації запропонованої методики удосконалено пристрій отримання ГРВ зображень рідиннофазних об'єктів, структурну схему якого показана на рис. 1.

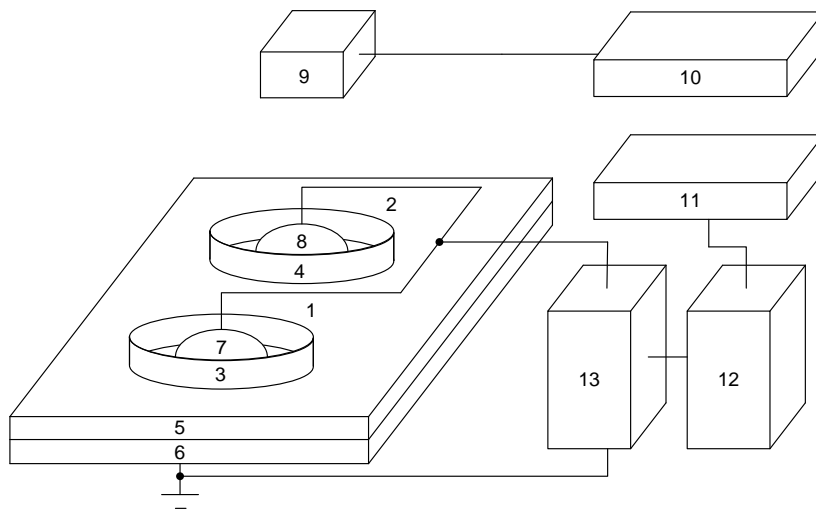


Рис. 1. Структурна схема пристрою для отримання ГРВ зображень рідиннофазних об'єктів

Пристрій складається з двох паралельно з'єднаних електродів 1 та 2, що знаходяться в ізолюваних комірках із захисними кільцями 3, 4. Комірки розташовані на діелектричній підкладці 5, що лежить на електроді 6. Досліджувані рідиннофазні об'єкти у вигляді напівсферичних крапель 7, 8 поміщаються у комірки. Контурне зображення напівсферичних крапель і світіння газових розрядів, яке виникає внаслідок прикладеної змінної напруги, одночасно реєструється за допомогою фотокамери 9 і надходить на комп'ютер 10. Частота змінної напруги задається за допомогою тактового генератора 11 у межах 10...50 кГц, а величина напруги у межах 25...200 В — схемою генерації 12 та підвищувальними котушками 13 з (середнім) коефіцієнтом підсилення 27 [8]. Для проведення досліджень рідиннофазні об'єкти формуються у вигляді дозованих крапель однакового об'єму.

Зображення газових розрядів рідиннофазних об'єктів, отриманих за допомогою розробленого пристрою, показано на рис. 2.

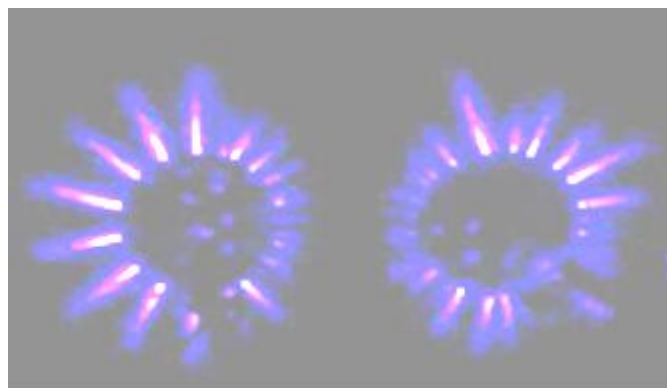


Рис. 2. Зображення газових розрядів рідиннофазних об'єктів

На рис. 3—6 показані 3D-зображення яскравості стримера в кольорах RGB та градаціях сірого. Частота появи стримерів відповідає частоті напруги, що прикладається до електродів, яка дорівнює 40 кГц, а швидкість фотокамери — 8 кадрів/секунду. Таким чином ці зображення є суперпо-

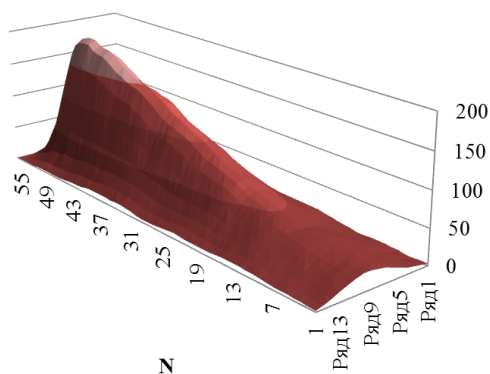


Рис. 3. 3D-зображення яскравості стримера: червоний канал зображення

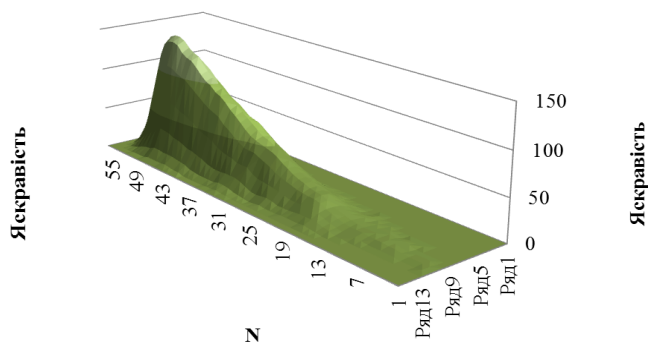


Рис. 4. 3D-зображення яскравості стримера: зелений канал зображення

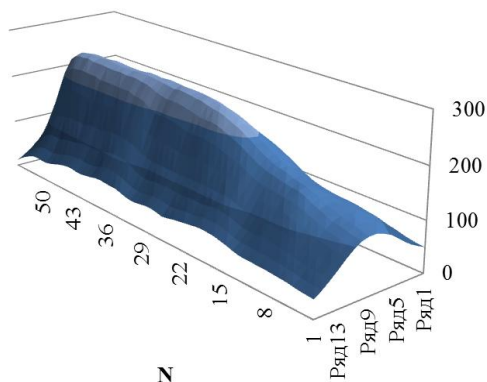


Рис. 5. 3D-зображення яскравості стримера: синій канал зображення зицією 5000 стримерів.

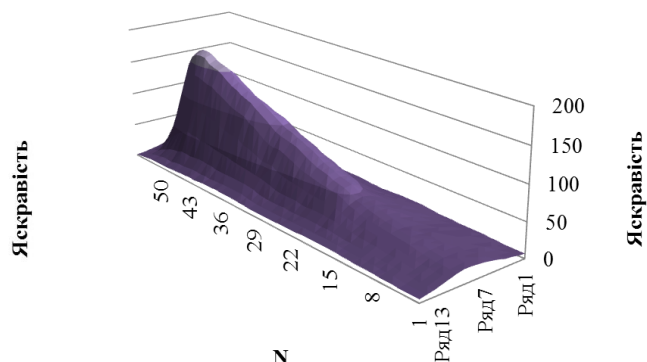


Рис. 6. 3D-зображення яскравості стримера: синій канал зображення

Аналіз зображень показав, що найбільшу частку яскравості світіння складає синя складова, найменшу — зелена. Форма стримера є клиноподібною в основі, причому наростає та спадає за експоненціальним законом у центральному перерізі.

На рис. 7 показані характеристики яскравості в перерізі декількох стримерів та їх апроксимовані криві, отримані під час дослідження води «Моршинської» та «Еко».

Для оцінювання стану рідинофазних об'єктів на основі стримерів отриманих з ГРВ зображень використані такі параметри: максимальна яскравість A ; довжина частини стримера до максимальної яскравості L_3 ; довжина частини стримера після максимальної яскравості L_c ; коефіцієнти спадання експонент k_1, k_2 ; середня яскравість стримера S_c та зображення S_3 .

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що характеристика яскравості стримера може бути описана емпіричною залежністю

$$I = \frac{166455 \cdot B}{x^3 \left(\exp\left(\frac{1439}{xA}\right) - 1 \right)},$$

де I — яскравість пікселя; x — номер пікселя від краю стримера; A, B — енергетичні коефіцієнти стримера, які визначаються в результаті його апроксимації.

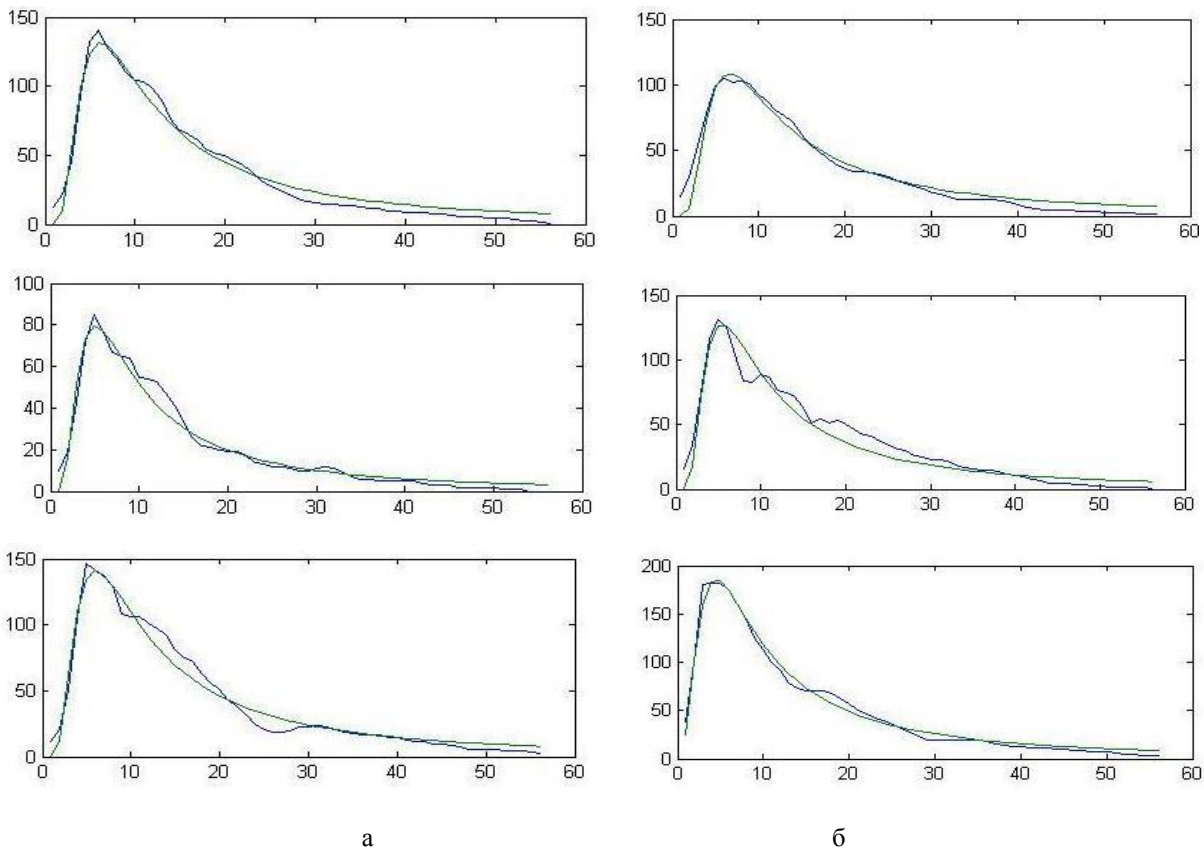


Рис. 7. Характеристики яскравості центральних перерізів стримерів та їх апроксимовані характеристики:

а — вода «Моршинська»; б — «Еко»

Всі параметри визначаються в перерізі, проведеному через вісь симетрії з пікселем максимальної яскравості I_{\max} .

I_{\max} — максимальне значення градації яскравості зображення одного стримера;

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

L_c — кількість пікселів від пікселя з максимальною яскравістю I_{\max} до першого пікселя, яскравість якого дорівнює рівню шуму.

k_1 — коефіцієнт спадання експоненти для частини стримера L_3 ;

k_2 — коефіцієнт спадання експоненти для частини стримера L_c ;

S_c — середня яскравість стримера, яка знаходиться діленням суми яскравостей пікселів стримера вище рівня яскравості шуму на їх кількість.

S_3 — середня яскравість зображення знаходиться діленням суми яскравостей пікселів зображення вище рівня яскравості шуму на їх кількість.

Для отримання просторового розподілення яскравості стримера та параметрів ГРВ зображення розроблено програмне забезпечення в середовищі MATLAB в пакеті Image Processing Toolbox та виконуються такі операції:

1. Завантаження ГРВ зображень в пам'ять ПК;
2. Розділення ГРВ зображення ріднофазних об'єктів на сталі і досліджуване;
3. Завантаження зображення сталого ріднофазного об'єкта. (рис. 8а);
4. Виконання порогового оброблення зображення (рис. 8б);
5. Виконання построкового сканування всього зображення для пошуку стримерів;
6. Виділення одного стримера;
7. Формування рівняння прямої, яка проходить через стример (рис. 8б);
8. Визначення азимута стримера α ;
9. Розраховуються крайові координати, щоб в утворений прямокутник помістився весь стример;
10. Виділення за крайовими координатами початкового зображення стримера рис. 9а та його поворот на кут ($90^\circ - \alpha$).

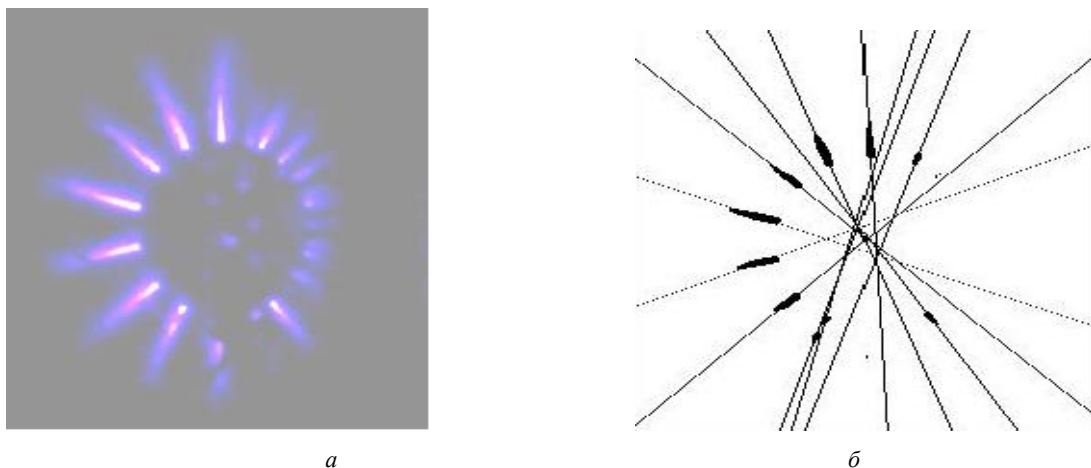
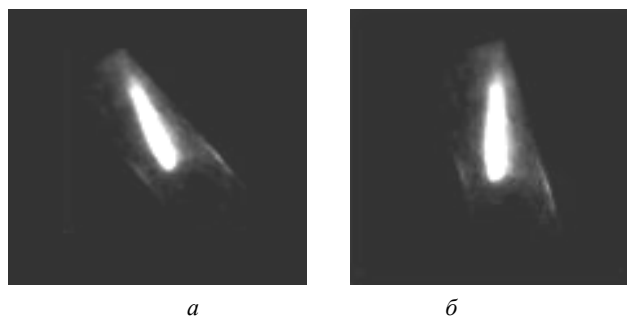


Рис. 8. ГРВ зображення краплі води:

a — вхідне зображення; *b* — зображення після порогової фільтрації з визначеними прямими, по яких будуть вирізатись і повертатись стримери

11. Встановлення стримера вертикально;
12. Формування масиву значень яскравості стримера з центального перерізу зображення;
13. Знаходження значень L_3 і L_c в перерізі;
14. Знаходження оптимальних значень енергетичних коефіцієнтів A , B для стримера, з якими середнє квадратичне відхилення набуває мінімального значення;
15. Знаходження оптимального значення коефіцієнта спадання експоненти k_1 для частини перерізу L_3 , з яким середнє квадратичне відхилення набуває мінімального значення;

Рис. 9. Зображення одиночного стримера: *a* — початкове положення стримера; *b* — повернутий стример

16. Знаходження оптимального значення коефіцієнта спадання експоненти k_2 для частини перерізу L_c , з яким середнє квадратичне відхилення набуває мінімального значення;
17. Занесення розрахованих та знайдених параметрів в масив, після чого програма продовжується з пункту 5 і знаходить зображення наступного стримера;
18. Проведення аналізу ГРВ зображення досліджуваного об'єкта за пунктами 4—17;
19. Визначення значення комплексних критеріїв та їх порівняльний аналіз.

Порогова обробка зображення виконується присвоєнням нульового значення пікселам з яскравістю нижче порогової та одиночного — усім іншим, внаслідок чого вхідне зображення бінаризується рис. 8б.

Виділення одного стримера виконується за допомогою функції заливання, при цьому визначаються його крайові координати x_n , x_d , y_b , y_n .

Згідно з пунктом 7 рівняння прямої будується методом найменших квадратів, якщо у знайденому стримері більше певного числа пікселів яскравістю вище порогового значення. Отримане рівняння прямої дає змогу визначити кут нахилу стримера α до осі ОХ [9]. Після цього відбувається встановлення стримера вертикально. При цьому формується зріз за яскравістю й за допомогою модифікованої функції заливки визначаються координати самого верхнього x_b , y_b і самого нижнього x_n , y_n піксела зображення. Якщо присутні декілька пікселів з однаковими координатами x_b чи x_n , то координати y визначаються знаходженням середнього арифметичного між крайніми координатами. Після чого визначається кут $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{x_n - x_b}{y_n - y_b} \right)$, що дозволяє повернути зображення на кут $(90^\circ - \beta)$.

Для оцінювання стану рідиннофазних об'єктів запропоновано комплексний критерій

$$K = \frac{UI\tau k_1 T}{cm\Delta t k_2 AB},$$

де U — прикладена напруга до рідиннофазового об'єкта; I — струм, що протікає через об'єкт; τ — час прикладання напруги; c — питома теплоємність об'єкта; m — маса об'єкта; Δt — зміна температури біоб'єкта за час прикладання напруги.

В таблиці наведені отримані ГРВ характеристики води «Моршинська» та «Еко».

ГРВ характеристики води «Моршинська» та «Еко»

ГРВ характеристики	Вода «Моршинська»			Вода «Еко»		
Комплексний критерій К	41,94671	46,0205	38,75033	5,572355	5,837181	6,723247
k_1	-0,077	-0,096	-0,088	-0,099	-0,076	-0,1
k_2	-0,529	-0,25	-0,343	-0,547	-0,344	-0,479
A	90	116	66	98	56	51
L_3	32	46	33	23	19	27
L_c	3	4	3	3	8	6
Середня яскравість пікселя I	17,2517	21,1133	15,6501	16,7062	14,8328	13,0912
B	1	3	2	4	2	3
T	83	77	93	50	72	82

З таблиці випливає, що значення комплексних критеріїв, отриманих на основі запропонованих характеристик для різних вод, суттєво відрізняються. Це дає підставу використовувати комплексні критерії для оцінювання стану рідиннофазних об'єктів, зокрема чистоти води.

Висновки

В роботі проведені дослідження ГРВ зображень рідиннофазних об'єктів на основі запропонованої методики. Удосконалено ГРВ пристрій для підвищення достовірності отриманих характеристик. Запропоновано низку характеристик ГРВ зображення рідиннофазних об'єктів: максимальна яскравість A ; довжина частини стримера до максимальної яскравості L_3 ; довжина частини стримера після максимальної яскравості L_c ; коефіцієнти спадання експонент k_1 , k_2 ; середня яскравість стримера S_c та зображення S_s . На підставі запропонованих характеристик ГРВ розроблено критерій оцінювання рідиннофазних об'єктів.

Розроблено програмне забезпечення для отримання просторового розподілення яскравості стримера, визначення параметрів ГРВ зображення та чистоти рідиннофазного об'єкта на основі комплексного критерію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коротков К. Эффект Кирлиан / К. Коротков. — СПб. : СПб ГИТМО (ТУ), 1995. — 218 с.
2. Казначеев В. П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей / В. П. Казначеев, Л. П. Михайлов. — Новосибирск : Наука, 1985. — 246 с.
3. Коломієць Р. О. Аналіз похибок оптичних систем та дискретизації зображення при реєстрації ГРВ зображень сукупної польової структури біологічних об'єктів в статичі / Р. О. Коломієць, В. П. Манойлов, В. А. Рудницький // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2007. — № 1. — С. 25—29.
4. Шарапов В. Использование метода газорозрядной визуализации для исследования психофизиологического состояния человека / В. М. Шарапов, С. В. Ротгэ // Вісник ЧДТУ. — 2008. — № 9. — С. 179—183.
5. Коротков К. Основы ГРВ-биоэлектрографии / К. Коротков. — СПб. : СПб ГИТМО (ТУ) — 2001. — 360 с.
6. Исследование зависимости спектра свечения кирлиан от химического состава объекта и окружающей его газовой атмосферы [Электронный ресурс] : Тезисы конгресса 2006 г. / И. И. Абдулов, Е. В. Алтынбаев, А. Ю. Бабич. — Режим доступа : <http://www.finer.ru/podg/content/issledovanie-zavisimosti-spektra-svecheniya-kirlian-ot-khimicheskogo-sostava-obekta-i-okruzhz>.
7. Физика. Большой энциклопедический словарь. — М. : Большая Российская энциклопедия, 1999. — С. 90, 460.
8. Павлюк О. А. Розробка комп'ютерної системи газорозрядної візуалізації / О. А. Павлюк, Й. Й. Білінський // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій : міжнар. наук.-техн. конф, Севастополь, 11—15 квітня 2011 р. — 68 с.
9. Лоусон Ч. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. — М. : Наука, 1986. — 232 с.

Рекомендована кафедрою електроніки

Стаття надійшла до редакції 30.07.11
Рекомендована до друку 29.09.11

Білінський Йосип Йосипович — завідувач кафедри електроніки;
Павлюк Олександр Анатолійович, Книш Богдан Петрович — студенти Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця