

## ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

(Представлено д.т.н. Манойловим В.П.)

*У статті представлені загальні принципи дослідження біологічних об'єктів з використанням методу газорозрядної візуалізації (ГРВ); коротко розглянута фізика ефекту Кірліан, виходячи з якої подається можливий варіант побудови генератора для ГРВ та розглянуті основи обробки отриманих ГРВ-зображень з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що при внесенні біологічного об'єкта (БО) у високочастотне ( $f > 1$  кГц) електромагнітне поле з високою напруженістю (порядку 20...25 кВ/см) навколо об'єкта спостерігається характерне світіння, схоже на коронний розряд [1], [2]. Колір цього світіння прямо пов'язаний з хімічним складом газу, в середовищі якого знаходиться об'єкт, а інші характеристики (насамперед – це просторова форма світіння та протікаючий розрядний струм) – від природи та стану самого БО. Це світіння часто називають „аурою” біологічного об'єкта, а в науці за цим явищем закріпилася назва „ефект Кірліан” – на честь одного з перших дослідників цього ефекту Кірліан С.Д. [1]. Також цей метод спостереження аури БО відомий під назвою методу газорозрядної візуалізації (ГРВ) тому, що розряд відбувається у вузькому газовому проміжку між БО та електродом. Біооб'єкт при цьому є частиною електричного ланцюга, через нього протікає струм (вкрай малий, щоб не викликати власної реакції БО). Отримане зображення (аура, його також часто називають ГРВ-грамою – за аналогією з кардіограмою, енцефалограмою і т.д.) несе в собі узагальнену (інтегральну) інформацію про стан БО в цілому, що може бути використане в медичній діагностиці (у цьому випадку за об'єкт дослідження беруться, як правило, пальці рук).

Метод ГРВ завжди привертав найбільшу увагу завдяки своїм діагностичним можливостям. Тому ще й досі головним напрямком впровадження методу були питання превентивної діагностики.

Можна виділити наступні переваги застосування методу ГРВ в медичній практиці [2]:

- можливість скрінінгу і моніторингу ентропійно-енергетичного гомеостазису всього організму та його окремих систем;
- об'єктивність інформації: незалежність від бажання і досвіду конкретного користувача;
- неінвазивність, безпечність і повна стерильність, зняття інформації тільки з кінцівок пацієнта;
- можливість слідкування за розвитком процесів у часі, співставлення структурних, функціональних та часових процесів в організмі;
- методична простота і зручність: відсутність якихось особливих вимог до приміщення, умов навколишнього середовища;
- використання сучасних методів нелінійної математики для обробки фрактальних зображень і вибору інформації про стан пацієнта;
- наочність та можливість інтерпретації отриманих результатів, зручність їх зберігання та обробки.

Для впровадження методу в практику потрібні насамперед безпечний та економічний генератор сильного електричного поля і програмні засоби для обробки отриманих ГРВ-зображень, оскільки вони самі по собі – просто картинки, з яких людині практично неможливо зробити якийсь діагностичний висновок.

**Фізика процесу візуалізації.** Сутністю методу ГРВ-графії є вивчення характеристик газового розряду, індукованого електронно-оптичною емісією об'єкта, що знаходиться в електромагнітному полі (ЕМП) високої напруженості. При цьому характеристики газового розряду відбивають як внутрішні властивості самих досліджуваних об'єктів, так і властивості зовнішнього середовища та ЕМП.

Аналіз процесів розвитку лавинного газового розряду в плоскопаралельному газовому проміжку показує, що електронна лавина виникає в той момент, коли величина зовнішньої напруги  $U(t)$ , прикладеної до цього проміжку, стає рівною потенціалу запалювання розряду  $U_3$ . Ця величина залежить від параметра  $Pd$ , де  $P$  – тиск газу, а  $d$  – величина міжелектродного зазору, причому для кожного газу ця величина корелює з відповідною кривою Пашена [1], [3]. Електронна лавина, виникнувши в якійсь точці простору, поширюється по прямій лінії до анода; її поява супроводжується імпульсом струму у розрядному ланцюгу і світінням газу. В міру того, як напруга  $U(t)$  стає вищою, ніж  $U_3$ , збільшується амплітуда імпульсу струму і пропорційно їй – інтенсивність світіння, а також кількість розрядних актів

(лавин), що приходяться на одиницю площі поверхні електрода. Параметри світіння лавини залежать від хімічного складу газового середовища, який визначає спектральний склад та інтенсивність цього світіння.

В координатах  $\lg I = f(d)|_{E=\text{const}}$  залежність розрядного струму від міжелектродної відстані становить прямі лінії, що свідчить про лавинний характер розряду, при якому щільність струму  $J$  пропорційна швидкості розмноження електронів:

$$J \sim v_e \sim e^{\alpha d} \cdot F(\alpha, \gamma, d), \quad (1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт іонізації;  $\gamma$  – коефіцієнт поглинання;  $F$  – функція, що залежить від виду газу;  $v_e$  – швидкість електрона [3].

Отримані дані дозволяють зробити висновки, що при сталих параметрах пристрою для візуалізації вид ГРВ-грам визначається характером розподілу електричного поля над поверхнею досліджуваного об'єкта. У випадку ізотропного об'єкта постійної товщини електричне поле буде однорідним по всій товщині зазору, що призведе до рівномірного засвічення носія зображення. Наявність на поверхні або в об'ємі (для непровідних об'єктів) неоднорідності-дефекту веде до спотворення електричного поля в зазорі поблизу поверхні об'єкта, що істотно впливає на вигляд зображення.

**Генератор для газорозрядної візуалізації.** Переважна більшість публікацій, присвячених дослідженням різних біологічних та небіологічних об'єктів методом ГРВ, акцентуються винятково на інтерпретації результатів, отриманих за допомогою різних модифікацій приладів „ГРВ-камера” та „Корона-ТВ”, що випускаються в Росії під науковим керівництвом д.т.н., проф. Короткова К.Г. [2] Публікацій, присвячених власне схемотехніці приладів, практично немає. Є кілька схем в мережі Internet (наприклад, <http://lebendige-ethik.net>), але вони доволі складні і (найсуттєвіший недолік) мають непідписані складові елементи (не вказаний їх типонімінал), що сильно заважає втіленню такої схеми „в залізо” та її налагодження. Є схема у дисертації Короткова К.Г. [4], але вона повністю аналогова, зроблена на елементній базі кінця 70-х – початку 80-х років минулого століття (дисертація захищена у 1982 р.). У збірці [2] детально розписана фізика процесу ГРВ і наведені характеристики модифікації приладу „ГРВ-камера” зразка 2000 р.:

- амплітуда біполярних імпульсів – від 3 до 20 кВ з неперервним регулюванням;
- тривалість імпульсів – 10 мкс;
- частота слідування імпульсів – до 1000 Гц;
- формування пачки імпульсів регульованої тривалості;
- зміна частоти заповнення заповнення імпульсного пакета (вибирається з дискретного ряду допустимих значень);
- кварцева стабілізація всіх параметрів з точністю не гірше 1 %;
- комп'ютерний контроль всіх параметрів;
- діагностика аварійної ситуації з виводом на відповідне повідомлення на LCD-дисплей та індикаторні світлодіоди;
- габарити порядку 250×350×80 мм, маса порядку 3 кг.

Суттєвою перевагою цих приладів порівняно з іншими є їх повна сумісність з IBM-сумісними комп'ютерами і можливість встановлення практично всіх налаштувань програмним шляхом.

Однією з проміжних ланок роботи було створення максимально функціональної і водночас простої у користуванні та за внутрішньою будовою системи для газорозрядної візуалізації аури БО. Уважно вивчивши фізику процесу візуалізації, можна дійти висновку, що частота імпульсів високої напруги суттєвого значення не має, газорозрядна візуалізація може відбуватися як у постійному полі, так і в змінному з частотою до сотень кГц. Але більш бажаною є висока частота, оскільки в цьому випадку струм протікає по поверхні об'єкта, не проникаючи вглиб („скін-ефект”). Потім, тривалість імпульсу повинна бути значно меншою, ніж тривалість паузи між сусідніми імпульсами – для зменшення часу впливу сильного електричного поля на БО. Крім того, для зменшення часу впливу поля на об'єкт можна досягти додатково амплітудною модуляцією послідовності імпульсів. Але в цьому випадку при фотографуванні ГРВ-зображення потрібно або вводити синхронізацію витримки фотоапарату з модульованим сигналом, або взагалі відключати модуляцію. Прилад повинен видавати високу напругу (понад 20 кВ) і водночас бути безпечним для доквілля. На рис. 1 наведена бажана форма (якісно) послідовності імпульсів для успішної візуалізації.

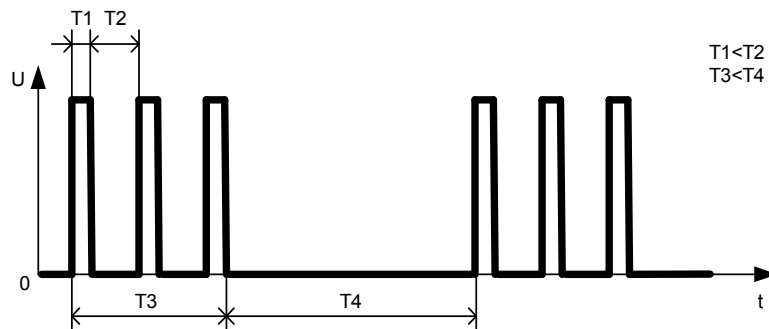
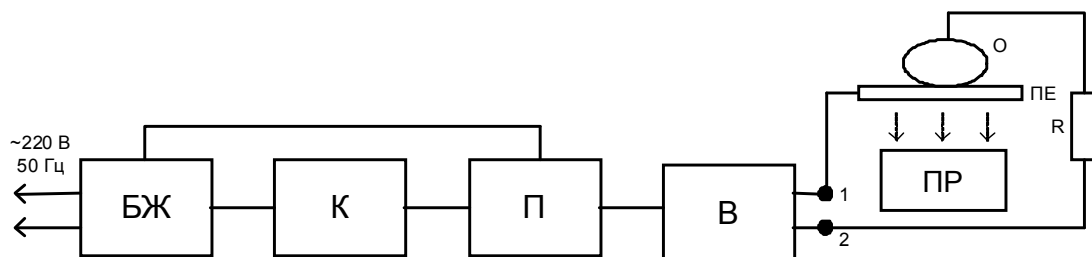


Рис. 1

Структурна схема генератора для газорозрядної візуалізації представлена на рис. 2.



БЖ – блок живлення; К – керуюча частина; П – підсилювач; В – високовольтна частина; ПР – пристрій резонанції; О – об’єкт дослідження; R – ізоляція другого електрода

Рис. 2

В аналогічних приладах вивід високовольтного блока, що не з’єднаний з прозорим електродом (вивід 2) заземлений, а ланцюг замикається за рахунок ємнісного зв’язку БО із землею. В описуваному приладі робиться інакше. Другий електрод є добре ізольованим, він не заземлюється, а прикладається безпосередньо до БО. Як показали випробування, це дає можливість створити переносний прилад, який не вимагає спеціального заземлення, а ланцюг замикається за рахунок ємнісного зв’язку з другим, ізольованим, електродом. Прозорий електрод також ізольований, опір ізоляції дуже великий, оскільки ізолятором слугує скло.

Прилад живиться з мережі змінного струму 220 В 50 Гц. Блок живлення – понижуючий трансформатор (видає 24 В з середньою точкою), напруга з нього випрямляється простим двопівперіодним випрямлячем і стабілізується.

Керуючий блок створений на двох таймерах типу КР1006ВИ1 (один видає високочастотні імпульси, інший – для модуляції), зміна частоти слідування імпульсів відбувається зміною опорного резистора (про схему включення таймерів див. [5]). Послідовності імпульсів від таймерів подаються на елемент І-НІ, з виходу якого знімається сигнал, за формою подібний до зображеного на рис. 1, амплітуда його становить приблизно 3 В.

Отриманий сигнал подається на підсилювач потужності, з виходу якого знімається сигнал амплітудою 24 В, максимальна сила струму в імпульсі становить 4 А. Високовольтний блок, на який подається попередньо підсилений сигнал, є підвищуючим трансформатором на основі ТВР (трансформатор вихідний рядковий, застосовується в приладах з електронно-променевими трубками) з коефіцієнтом трансформації 1000. До виходів ТВР підключаються електроди. Повна принципова схема наведена в [7].

На особливу увагу заслуговує прозорий електрод. Його можна виготовити двома шляхами: або між двома скельцями налити прозорий розчин електродоліту, або на скло нанести тоненьку прозору плівку провідного матеріалу. Перший шлях зіштовхується з істотними труднощами конструктивного характеру – потрібно забезпечити герметичність і особливу чистоту розчину. Другий шлях вимагає застосування особливої технології. Численні експерименти показали, що кращим є другий шлях – електрод виготовляється шляхом вакуумного напылення тоненької (товщиною всього кілька нм) плівки нітриду титану на спеціально підготовлене скло. При цьому виходить надійний, малогабаритний та зручний у користуванні електрод без істотної втрати прозорості (особливо в діапазоні синіх та фіолетових хвиль, на які припадає спектральний максимум світіння).

**Обробка отриманих ГРВ-зображень.** Вихідне зображення – кольорове, кодується у графічний формат BMP (24 біти), оскільки в цьому випадку кодування проводиться практично без втрат інформації, хоча об'єм графічного файлу виходить великим. Точність представлення геометричної форми зображення залежить від роздільної здатності реєструючого пристрою (цифрового фотоапарата). Закодоване зображення є прямокутною матрицею, кожен елемент якої (піксел) являє собою три числа, за допомогою яких представляється колір точки наступним чином: перше число кодує ступінь насиченості червоного кольору, друге – зеленого, третє – синього (так звана палітра RGB). Допустимий діапазон чисел – 0...255, нулю відповідає відсутність кольору, 255 – максимально насичений колір. Так, елемент (0, 0, 0) кодує чорний колір, елемент (255, 255, 255) – білий, всі інші кольори лежать між ними і утворюються сумішшю червоного, зеленого і синього кольорів у різній пропорції [6]. Таким чином, колір точки можна уявити як трирозрядне число, записане у системі числення з основою 256, старший розряд якого відповідатиме за червоний, середній – за зелений, а молодший – за синій колір, і відповідно максимальна кількість кольорів становить  $256^3 + 256^2 + 256 = 16.843.008$ . Якщо позначити число, яке кодує колір точки, символом  $z$ , то саму точку з координатами  $(x, y)$  можна позначити як  $z(x, y)$ , а все зображення – як матрицю  $Z[z(x, y)]$ .

Першим етапом обробки ГРВ-зображення є виділення корисної складової сигналу зображення на фоні неминучого шуму, тобто відділення власне ГРВ-зображення від фону і приведення його у деякий стандартний вигляд з метою подальшої обробки. Враховуючи те, що аура фотографується у темряві (світіння слабке, а зовнішнє світло його може заглушити і спотворити), в оптимальному випадку фон є чорним. Видаливши із зображення всі піксели, червона, зелена і синя складова яких менша за деяке граничне значення  $d$  (назвемо його чутливістю), отримаємо зображення без фону. Позначимо нове зображення  $Z^*$ . Кольоровим спектром зображення  $Z^*$  назвемо деяку функцію  $s = C(z)$ , значення якої показує, скільки пікселів кольору  $z$  міститься в зображенні. Обчислити функцію  $C$  неважко, просканувавши попіксельно отримане зображення. На цьому ж етапі можна обчислити площу власне ГРВ-зображення, яка залежить від провідності об'єкта дослідження та його емісійних властивостей.

Найчастіше ГРВ-зображення складається з багатьох фрагментів, один з яких є основним – його площа найбільша, інші ж можуть бути вкрай малими. У зв'язку з цим доцільно ввести поняття фрактального спектру – це функція  $m = M(k)$ , що показує, скільки фрагментів площею рівно  $k$  містить зображення.

На цьому ж етапі обчислюються периметри окремих фрагментів. Тут слід зазначити, що дискретизація дуже сильно впливає на геометричні властивості зображення. На відміну від положень звичної евклідової геометрії, де лінія має довжину, але не має площі, а точка не має ні того, ні іншого, в даному випадку це не так. У збірці [2] є розділ, присвячений цьому питанню. Периметр фрагмента обчислюється як число всіх незафарбованих суміжних з фрагментом пікселів. Важливою характеристикою фрагмента є показник його розрізаності, що обчислюється, як

$$K = \frac{p}{s}, \quad (2)$$

де  $p$  – периметр фрагмента,  $s$  – його площа. Показник можна поширити на все зображення – тоді він набуде вигляду:

$$K^* = \frac{\sum_{i=1}^N p_i}{\sum_{i=1}^N s_i}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість фрагментів.

Якщо у головного фрагмента можна виділити уявний центр, то поняття ентропії ГРВ-грам можна ввести наступним чином [2]. Введемо деяку функцію  $R(\varphi)$ ,  $\varphi = 0...2\pi$ , значення якої відповідають радіусам головного фрагменту по куту  $\varphi$ . Як показує аналіз великої кількості ГРВ-грам, функція  $R(\varphi)$  є квазіхаотичною, тому її можна вважати випадковим розподілом і обчислити її статистичні параметри. Введемо інтегральну функцію:

$$Q = \int_0^{2\pi} R(\varphi) d\varphi, \quad (4)$$

і перейдемо від функції  $R(\varphi)$  до нормованої функції  $r(\varphi)$ :

$$r(\varphi) = \frac{2\pi R(\varphi)}{\int_0^{2\pi} R(\varphi) d\varphi} = \frac{2\pi R(\varphi)}{Q}, \quad \varphi = 0...2\pi. \quad (5)$$

Функція  $r(\varphi)$  в межах від 0 до  $2\pi$  змінюється від  $r_{\min}$  до  $r_{\max}$ . Розділимо область значень функції  $r(\varphi)$  на  $N$  рівних інтервалів і побудуємо графік  $G(r)$  розподілу щільності значень функції  $r(\varphi)$  в інтервалі  $[r_{\min}; r_{\max}]$ . Для використання статистично-ймовірнісних методів  $N$  повинно бути порядку 1000. З метою використання імовірнісної інтерпретації введемо нормовану функцію  $g(r)$ , яка відповідає щільності ймовірності:

$$g(r) = \frac{G(r)}{\int G(r)dr}, \int g(r)dr = 1, r \in [r_{\min}, r_{\max}]. \quad (6)$$

Ентропію ГРВ-грамми тоді можна представити за аналогією з широкоживаною термодинамічною ентропією:

$$\varepsilon = - \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} g(r) \ln[g(r)]dr. \quad (7)$$

Значення ГРВ-ентропії перш за все практичне: воно дозволяє класифікувати ГРВ-грамми за рівнем „розбалансу”, а саме: для сильно розбалансованих ГРВ-грам, які відповідають нестабільному стану БО, функція  $R(\varphi)$  випадкова, що призводить до високого значення ентропії, тоді як рівні „спокійні” ГРВ-грамми, які відповідають низькому рівню невизначеності функції  $R(\varphi)$ , мають низьке значення ентропії.

**Висновки.** Метод є принципово контактним. Для його реалізації необхідно помістити об’єкт дослідження в електричне поле високої напруженості. Об’єкт стає частиною електричного ланцюга, через нього протікає електричний струм. Загальний характер процесів зберігається незалежно від виду використовуваної напруги: синусоїдальної низькочастотної, імпульсної або високочастотної. Обмеження струму, що протікає через об’єкт, досягається введенням діелектричних шарів між електродами, а також за рахунок схемного обмеження струму генератора. Описаний в статті алфавіт ознак ГРВ-грам не є жорстко заданим, в міру нагромадження статистичних даних і проведення подальших досліджень ГРВ-зображень обраний алфавіт ознак може мінятися відповідно до нових потреб в обробці інформації.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Коротков К.Г.* Эффект Кирлиан. – СПб.: Ольга, 1995. – 240 с.
2. *Коротков К.Г.* Основы ГРВ-биоэлектрографии – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
3. *Грановский В.Л.* Электрический ток в газах. – М.: Наука, 1971. – 560 с.
4. *Коротков К.Г.* Исследование физических процессов, протекающих при газоразрядной визуализации различных объектов: Дис... канд. физ.-мат. наук. – 01.04.04; Утв. 01.06.83. – Л., 1982. – 227 с., ил.
5. *Алексенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И.* Применение прецизионных аналоговых микросхем. – М.: Радио и связь, 1985. – 380 с.
6. *Глушаков С.В., Киабе Г.А.* Компьютерная графика: Учеб. курс. – Х.: Фолио, 2001. – 500 с.
7. *Коломієць Р.О.* Розробка генератора для ГРВ при формуванні аури біооб'єкта: Дипл. роб. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 80 с.

КОЛОМІЄЦЬ Роман Олександрович – аспірант кафедри „Електронні апарати” Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– застосування методу ГРВ в медицині та ін. між галузях;

– фізика живого.

Подано 22.09.2005

**Коломієць Р.О.** Загальні принципи дослідження біологічних об'єктів за допомогою методу газорозрядної візуалізації

**Коломиец Р.А.** Общие принципы исследования биологических объектов с помощью метода газоразрядной визуализации

**Kolomiyetz R.A.** Common principles of search after biological objects with use the method of gas-discharge vizualisation

УДК 004.932:615.844

**Загальні принципи дослідження біологічних об'єктів за допомогою методу газорозрядної візуалізації / Р.О. Коломієць**

У статті представлені загальні принципи дослідження біологічних об'єктів з використанням методу газорозрядної візуалізації (ГРВ); коротко розглянута фізика ефекту Кірліан, виходячи з якої подається можливий варіант побудови генератора для ГРВ та розглянуті основи обробки отриманих ГРВ-зображень з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки.

УДК 004.932:615.844

**Общие принципы исследования биологических объектов с помощью метода газоразрядной визуализации / Р.А. Коломиец**

В статье представлены общие принципы исследования биологических объектов с использованием метода газоразрядной визуализации (ГРВ); кратко рассмотрена физика эффекта Кирлиан, исходя из которой подается возможный вариант построения генератора для ГРВ и рассмотрены основы обработки полученных ГРВ-изображений с использованием средств вычислительной техники.

УДК 004.932:615.844

**Common principles of search after biological objects with use the method of gas-discharge vizualisation / R.A. Kolomiyetz**

The article contains common principles of search after biological objects with use the method of gas-discharge vizualisation (GDV). Physics of Kirlian's effect was been seen summary, and possible variant of building the generator for GDV and basis of making of GDV-images with use computer systems were appeared.