

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 32 (71) № 2 2021

Частина 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 8 від 22.04.2021 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідectво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1), 121. Інженерія програмного забезпечення, 123. Комп'ютерна інженерія, 126. Інформаційні системи та технології, 151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275. Транспортні технології (за видами) відповідно до Наказу МОН України від 02.07.2020 № 886 (додаток 4)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2021

Глухова Н.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Пісоцька Л.А.

Дніпровський державний медичний університет

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЯСКРАВСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ ГАЗОВИХ РОЗРЯДІВ

У статті розглянуто сучасний стан досліджень, які ґрунтуються на використанні зображень. Показано переваги та огріхи методів медичної діагностики, які передбачають реєстрацію та подальший аналіз зображень. Серед огріхів використання зображень під час виконання діагностичних процедур виділено такі: необхідність встановлення інформативних ознак зображень, наявність суб'єктивного вкладу в діагностичні рішення під час аналізу зображень людиною-експертом. Для розв'язання вказаних огріхів запропоновано спосіб виявлення й аналізу інформативних ознак зображень на основі статистичного підходу.

Надано огляд фізичних явищ, які виникають під час процедури реєстрації зображень газорозрядного випромінювання. Газовий розряд формується навколо досліджуваного об'єкта завдяки впливу генератора, який створює імпульсне електромагнітне поле. Завдяки генератору зовнішнього електромагнітного поля навколо досліджуваного об'єкта виникає область іонізованого газу, частинки якого взаємодіють між собою та об'єктом. Частинки, що перебувають у збудженому стані, зіштовхуються, розпадаються та можуть переходити на більш низькі рівні, що супроводжується випромінюванням світла, зокрема в ультрафіолетовому діапазоні.

Взаємодія та перетворення часток є джерелом походження випадкових ефектів, які проявляються в ймовірнісному характері формування газорозрядних треків, та потребують врахування під час обробки зображень із використанням методів математичної статистики й теорії ймовірності.

З метою реалізації секторного способу аналізу газорозрядного випромінювання розроблено методику оцінки параметрів для профілю яскравості зображення. Запропоновано використання як інформативного параметра для сектору зображення відносної яскравості. Для отримання кількісних значень точкових статистичних оцінок розраховано середнє арифметичне значення та стандартне відхилення в межах контрольної групи. Отримані результати розрахунків показали незначний розкид статистичних параметрів у межах груп.

Ключові слова: аналіз даних, газорозрядне випромінювання, цифрова обробка зображень, профіль яскравості.

Постановка проблеми. У сучасній медичній діагностиці широко застосовуються зображення. Способи отримання зображень, що засновані на певних вимірювальних процедурах, дуже різноманітні. Порівняно з іншими способами вимірювань, які передбачають кількісну оцінку окремих параметрів, методи досліджень, що ґрунтуються на отриманні зображень, потенційно здатні забезпечити дослідника значно більшою кількістю інформації. З іншого боку, під час залучення зображень у процесі реалізації діагностичних процедур виникає необхідність їх грамотного аналізу та інтерпретації. Вказані процедури може виконувати кваліфікований фахівець певної галузі (експерт), але для мінімізації суб'єктивних факторів та отримання більш точних кількісних

оцінок інформативних складників зображень раціонально скористатися сучасними засобами комп'ютерної техніки.

Незважаючи на значну кількість прикладних програм, орієнтованих на обробку й аналіз зображень, вони передусім спрямовані на розв'язання типових завдань, наприклад поліпшення зображень, ідентифікацію обличчя тощо. Що стосується галузі медичної діагностики, то нині не запропоновано універсальних процедур і методів обробки зображень, оскільки візуальна інформація в медичній діагностиці реєструється дуже різними способами (ультразвукова діагностика, томографія, рентгенівське випромінювання тощо). Зображення, які отримано в результаті вимірювальних процедур, що базуються на принципово різних

фізичних явищах та ефектах, не можуть аналізуватися загальними стандартними процедурами, а тому потребують розроблення відповідних алгоритмів і прикладного програмного забезпечення, що враховує специфіку їх отримання та мету досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Двовимірне або тривимірне зображення можна охарактеризувати інформативними ознаками. Нетривіальність процедури аналізу зображень полягає саме у встановленні такого роду інформативних ознак. Сукупність фотометричних параметрів зображень можна поділити на дві великі групи: 1) геометричні ознаки; 2) яскравісні ознаки [1]. У роботі увагу зосереджено на аналізі зображень газорозрядного випромінювання, які застосовуються в галузі медичної діагностики [2-4]. Виявлення інформативних ознак газорозрядного світіння навколо фаланг пальців людини застосовується з метою дослідження функціонального стану організму. Водночас під час аналізу картини світіння навколо пальця необхідно обов'язково враховувати ймовірнісний характер формування газових розрядів [5: 6]. Розряди виникають навколо досліджуваного об'єкта шляхом впливу зовнішнього електромагнітного поля. Газовий розряд являє собою один із різновидів плазми. Завдяки генератору зовнішнього імпульсного електромагнітного поля навколо досліджуваного об'єкту виникає область іонізованого газу. Він містить приблизно однакову концентрацію як позитивних, так і негативних заряджених часток, а також певну кількість нейтральних часток. Для виникнення та існування газового розряду необхідно забезпечення різниці потенціалів завдяки дії високовольтного генератора (у цьому випадку генератора імпульсної напруги).

Завдяки різниці потенціалів на обкладинках генератора з аноду випускаються електрони. Їхній рух прискорюється катодом, завдяки чому вони починають зіштовхуватися з молекулами й атомами газу з навколишнього повітря. Збудження частинок навколишнього повітря, а також досліджуваного об'єкта забезпечується завдяки наявності зіштовхування частинок між собою. Частинки, що перебувають у збудженому стані, можуть розпадатися та переходити на більш низькі рівні, що супроводжується випромінюванням світла, зокрема в ультрафіолетовому діапазоні.

Описані фізичні процеси, що утворюють джерело випромінювання світла з різною довжиною хвиль, зумовлюють специфічне випромінювання

в середовищі газорозрядної плазми, що також має назву тліючого розряду [7]. Водночас у роботі [7] наголошується, що процеси, пов'язані з утворенням плазми, можуть використовуватися для дослідження як електромагнітних, так і квантових явищ. Завдяки цьому метод газорозрядного випромінювання є універсальним інструментом, який успішно застосовується як під час дослідження в галузі медичної діагностики [8], так і під час встановлення біологічних властивостей води, які корелюють із квантовими ефектами, насамперед з утворенням когерентних доменів у структурі води [9–12].

Постановка завдання. Навіть стислий огляд фізичних явищ, які відбуваються під час процесу газорозрядного випромінювання, надає підстави для розглядання цього процесу як випадкового, що ґрунтується на ймовірнісній природі утворення та зіштовхування заряджених часток. Це дає підґрунтя розглядати сигнали та процеси під час газорозрядного випромінювання як складні явища, що містять регулярні та випадкові складники. Регулярний складник залежить від параметрів пристрою реєстрації та характеристик досліджуваного об'єкта. Випадковий зумовлений ймовірнісною природою газового розряду.

Завданням наукових досліджень у роботі є розроблення статистичних методів для аналізу зображень газорозрядного випромінювання, які дають змогу врахувати ймовірнісний характер фізичного процесу формування розряду та одночасно виділити інформативні ознаки зображень, пов'язані з характеристиками об'єкта досліджень. Увагу насамперед зосереджено на дослідженні яскравісних (фотометричних) ознак зображень випромінювання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Метод газорозрядного випромінювання використовується для виявлення порушень функціонування різноманітних систем та органів людини, а також виявлення проявів психоемоційних факторів під час медичних діагностичних процедур [4]. Особливо ефективним цей метод виявився під час дослідження причин виникнення різноманітних неінфекційних захворювань людини на ранніх стадіях. Відомо, що профілактика та виявлення захворювань на ранніх стадіях суттєво підвищують ймовірність швидкого одужання без тривалих наслідків.

Різнманітні процеси в організмі людини пов'язані з електромагнітними явищами. Зокрема, спотворення фізичних характеристик мембран живих клітин призводить до коливань електро-

магнітних властивостей клітини. Метод газорозрядного випромінювання забезпечує можливість ранньої діагностики та ґрунтується на отриманні зображень газорозрядного випромінювання навколо пальців людини. Згідно з методикою, розробленою професором П. Манделом [13], на базі аналізу особливостей випромінювання може бути проведено комплексну діагностику всього організму людини.

Однак огріхом цього методу є його залежність від імовірнісної природи газового розряду, що зумовлює необхідність статистичної обробки результатів вимірювань.

З метою статистичного аналізу результатів досліджень методом газорозрядного випромінювання на першому етапі повинен бути виділений набір інформативних ознак зображень, представлених у кількісній формі. Інформативні ознаки повинні бути пов'язані з певними характеристиками об'єкта досліджень. Під час розв'язання завдання встановлення біологічних властивостей води було розроблено спосіб на основі побудови гістограм яскравості зображень [14], але для медичної діагностики він не може бути впроваджений, оскільки не дає можливості аналізу зображень в окремих секторах.

Оскільки метод газорозрядного випромінювання оснований на реєстрації зображень, то його результати ґрунтуються переважно на порівняльних характеристиках зображень для

різних досліджуваних груп. З метою виявлення можливих порушень у структурі випромінювання як на основі експертного аналізу, так і на основі систем підтримки ухвалення діагностичних рішень, необхідне формування так званої контрольної групи майже здорових людей, показники газорозрядного випромінювання для яких на основі експертної думки можна віднести до нормального типу випромінювання, без істотних порушень.

Методика, розроблена професором П. Манделом, передбачає аналіз параметрів випромінювання в певних секторах радіального зображення випромінювання навколо пальців: певному сектору зображення ставиться у відповідність конкретний орган або система. Тому в розробленій прикладній програмі для аналізу зображень вони поділяються на декілька секторів (рис. 1). Представлене на рис. 1 зображення є негативним, зафіксованим на рентгенівській плівці. Для кожного сектору розраховується ширина газорозрядної корони, яка складається із сукупності зафіксованих газорозрядних треків. Як було встановлено під час експертного аналізу, для проведення діагностичних процедур важливими є не тільки геометричні розміри зображення газорозрядного випромінювання, але і його фотометричні ознаки, зокрема яскравість. Тому до складу розробленого прикладного програмного забезпечення включено алгоритми, які дають змогу проводити кількісну

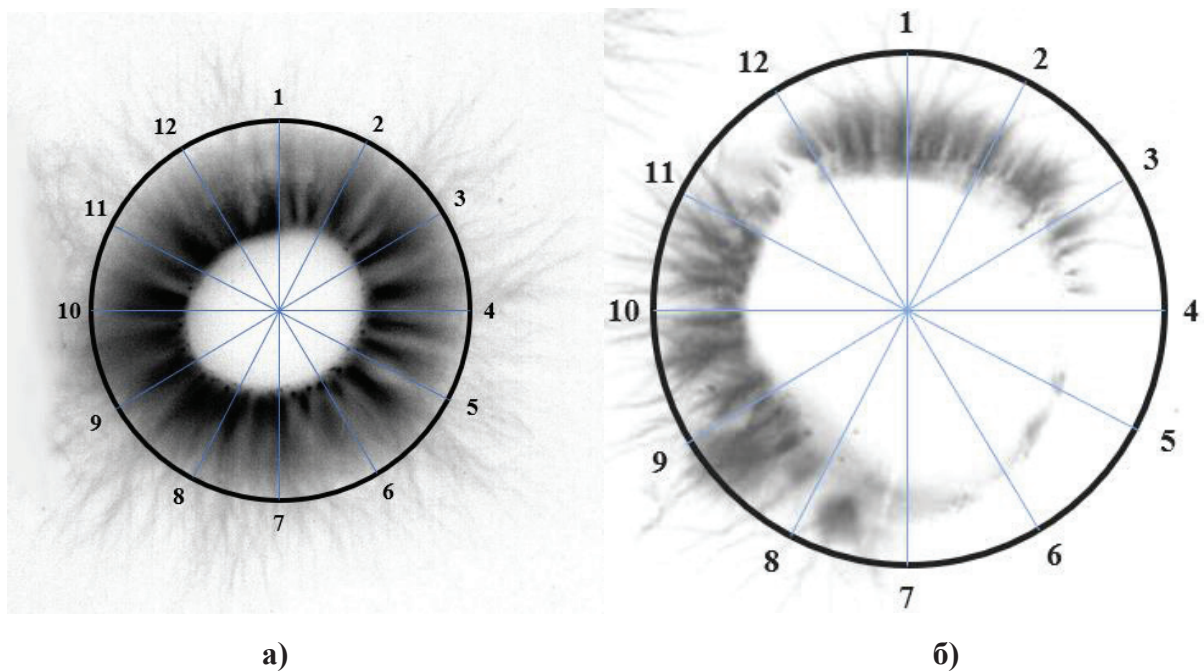


Рис. 1. Сектори для аналізу параметрів зображення газорозрядного випромінювання (а – нормальний тип випромінювання; б – випромінювання з порушеннями структури)

оцінку показників яскравості випромінювання для виділених секторів зображення [15].

Для відповідного сектору формується вектор, який містить значення яскравості пікселів:

$$\bar{b} = [b_1, b_2, \dots, b_k].$$

Для кожного вектора розраховується відносна яскравість випромінювання:

$$\hat{b} = \frac{b_{\min}}{b_{\max}},$$

де b_{\min} , b_{\max} – відповідно мінімальна та максимальна яскравості для профілю яскравості для цього сектору.

З метою статистичного аналізу фотометричних ознак для вибірки зображень, отриманої для контрольної групи майже здорових людей, для оцінки найбільш імовірного значення відносної яскравості використовувалось середнє арифметичне значення. Обсяг контрольної групи під час досліджень $n=68$ зображень.

Середнє арифметичне значення відносної яскравості випромінювання спочатку розраховувалось для 12 виділених секторів одного пальця:

$$\hat{b}_i^{cep} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \hat{b}_j,$$

де k – кількість секторів; i – номер пальця.

Методика та відповідне програмне забезпечення передбачали можливість розрахунку середнього арифметичного як для одного, так і для кількох пальців людини. В останньому випадку отримання усередненої оцінки відбувалося аналогічним чином, але для декількох пальців. У такий спосіб було отримано 68 значень середньої яскравості випромінювання для кожного представника з контрольної групи. Для кожного з них цей показник було взято за норму.

З метою формування усереднених показників для контрольної групи загалом і для їхнього статистичного аналізу було розраховано такі кількісні характеристики:

1. Мінімальне значення середньої яскравості в межах контрольної групи:

$$\hat{b}_{\min} = \text{MIN}[\hat{b}_z] = 0,29,$$

$z = 1, 2, \dots, n$ – номер представника контрольної групи.

2. Максимальне значення середньої яскравості в межах контрольної групи:

$$\hat{b}_{\max} = \text{MAX}[\hat{b}_z] = 0,48,$$

$z = 1, 2, \dots, n$ – номер представника контрольної групи.

3. Середнє арифметичне значення відносної яскравості загалом по групі:

$$\hat{b}_{cep} = \frac{1}{n} \sum_{z=1}^n \hat{b}_z = 0,37.$$

4. Стандартне відхилення:

$$\sigma(\hat{b}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{z=1}^n \hat{b}_z^2} = 0,004.$$

Завершальний етап статистичного аналізу кількісних параметрів для контрольної групи зображень із метрологічного погляду повинен містити оцінку сумарної (комбінованої) невизначеності вимірювань.

За будь-якого виду та методу вимірювань сумарна невизначеність завжди містить декілька складників, зумовлених впливом різноманітних факторів під час реалізації вимірювальної процедури. У цьому випадку сумарна невизначеність буде містити такі складники:

1) Компоненти типу А, зумовлені впливом випадкових факторів:

а) випадкові коливання властивостей об'єкта вимірювань;

б) вплив навколишнього середовища (неінформативний складник);

в) нестабільність параметрів вимірювальної апаратури, зокрема коливання напруги на вході генератора імпульсного електромагнітного поля тощо.

2) Компоненти типу В, зумовлені дією систематичних впливаючих факторів:

а) недосконалість вимірювальної та реєструвальної апаратури;

б) обмеження за роздільною здатністю та чутливістю аналого-цифрового перетворення зображень;

в) недосконалість алгоритмів і програмного забезпечення для виділення та опрацювання кількісних параметрів зображень.

Оскільки отримані кількісні оцінки статистичних характеристик ґрунтуються на результатах експериментальних досліджень, то вони містять у своєму складі всі перелічені компоненти. Тому значення розрахованого стандартного відхилення є оцінкою стандартної комбінованої невизначеності.

Висновки. У статті запропоновано методику статистичного аналізу параметрів яскравості під час формування газових розрядів, яка враховує ймовірнісний характер утворення на фотоматеріалі газорозрядних треків. Виконаний аналіз фізичних процесів, які відбуваються під час практичної реалізації методу газорозрядного випромінювання, показав необхідність врахування

їхньої ймовірнісної природи під час обробки експериментальних даних. Експериментальні результати, отримані під час реєстрації та опрацювання результатів дослідження зображень газо-

розрядного випромінювання контрольної групи з нормальним типом випромінювання, свідчать про незначний розкид статистичних параметрів у межах групи.

Список літератури:

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва, 2005. 1072 с.
2. Мінцер О.П., Пісоцька Л.А., Глухова Н.В. Основні напрями прикладної кірліанографії в екології та медицині. *Медицина інформатика та інженерія*. 2020. № 2 (50). С. 96–110.
3. Глухова Н.В. Параметризація зображень газорозрядного излучения с целью выявления нарушенной симметрии. *Scientific achievements of modern society: abstracts of the 5th International scientific and practical conference (8–10 января 2020 г.)*. Ливерпуль, Великобритания, 2020. С. 412–416. URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-scientific-achievements-of-modern-society-8-10-yanvary-2020-goda-liverpul-velikobritaniya-arhiv/> (дата звернення: 15.03.2021).
4. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А. Автоматизована ідентифікація проявів психоемоційної лабільності на зображеннях газорозрядного випромінювання. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). № 5. Ч. 1. С. 69–74. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.5-1/11.
5. Коротков К.Г. Исследование физических процессов, протекающих при газоразрядной визуализации объектов различной природы : автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград, 1982. 25 с.
6. Yuri P. Raizer. *Gas Discharge Physics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991. 449 p.
7. Stephanie A. Wissel, Zwicker A. The use of DC glow discharges as undergraduate educational tools. *American Journal of Physics*. 2013. № 81(9). P. 663–669. DOI: 10.1119/1.4811435.
8. Pesotskaya L., Glukhova N., Evdokimenko N., Zukow W. Evaluation of biological effects of water on the human body to change the energo-informational status. *Journal of Education, Health and Sport. Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland*. 2016. № 6(9). P. 736–756. DOI: 10.5281/zenodo.159223.
9. Спосіб визначення ступеня когерентності стану води: пат. 01841 Україна: МПК G 01N 21/00, № 112809; заявл. 02.03.15; опубл. 12.09.16, Бюл. № 17. 8 с.
10. Глухова Н.В. Розробка методу експрес-оцінки біологічних властивостей води. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2014. № 6/5(72). С. 18–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31546.
11. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А. Метод визначення ступеня когерентності води з використанням методології фліккер-шумової спектроскопії. *Системи обробки інформації*. 2015. № 5 (130). С. 167–171.
12. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А., Кучук Н.Г. Метод оцінки біологічних та квантових властивостей води. *Системи обробки інформації*. 2015. № 7 (132). С. 195–200.
13. Mandel P. *Energetische Terminalpunkt-Diagnose*. Engan, 1983. 199 p.
14. Глухова Н.В. Виявлення інформативних ознак зображень на базі аналізу гістограм яскравості. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Т. 31 (70). № 4. С. 75–80. DOI: 10.32838/2663-5941/2020.4/10.
15. Glukhova N.V. Method for Determining the Measurement Uncertainty of the Detailing Coefficients of the Wavelet Transform of Image Brightness Profiles. *Measurement Techniques*. 2020. № 63 (2). P. 177–183. DOI: 10.1007/s11018-020-01769-1.

Hlukhova N.V, Pisotska L.A. STATISTICAL ANALYSIS OF RADIATION BRIGHTNESS PARAMETERS DURING THE FORMATION OF GAS DISCHARGES

The article considers the current state of research based on the use of images. The advantages and disadvantages of medical diagnostic methods, which include registration and further analysis of images, are shown. Among the disadvantages of using images in the implementation of diagnostic procedures are the following: the need to establish informative features of the images, the presence of a subjective contribution to diagnostic solutions in the analysis of images by an expert. To address these shortcomings, a method of identifying and analyzing informative features of images based on a statistical approach is proposed.

An overview of physical phenomena that occur during the procedure of registration of images of gas-discharge radiation is given. The gas discharge is formed around the object under study due to the influence of the generator, which generates a pulsed electromagnetic field. Thanks to the generator of the external electromagnetic field around the object under study there is a region of ionized gas, the particles of which interact with each other and the object. Particles that are excited collide, decay, and can move to lower levels, which is accompanied by light radiation, including in the ultraviolet range.

The interaction and transformation of particles are a source of random effects, which are manifested in the probabilistic nature of the formation of gas-discharge tracks, and need to be taken into account when processing images using methods of mathematical statistics and probability theory.

In order to implement the sector method of gas-discharge radiation analysis, a method for estimating the parameters for the image brightness profile has been developed. The use of relative brightness as an informative parameter for the image sector is proposed. To obtain quantitative values of point statistical estimates, the arithmetic mean and standard deviation within the control group were calculated. The obtained results of calculations showed a slight variation of statistical parameters within the group.

Key words: *data analysis, gas discharge radiation, digital image processing, brightness profile.*