

сприятимуть створенню більш адаптивних і надійних методів оптимізації для сучасних аналітичних моделей.

### **Список використаних джерел**

1. Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P. Optimization by Simulated Annealing. Science, 1983. URL: <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671> (дата звернення: 25.12.2025)
2. Tomar V., et al. A review of metaheuristic optimization methods. MDPI, 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4591/59/1/238> (дата звернення: 25.12.2025)
3. Gilli M., Winker P. A review of heuristic optimization methods in econometrics. IDEAS/RePEc, 2008. URL: <https://ideas.repec.org/p/chf/rpseri/rp0812.html> (дата звернення: 26.12.2025)
4. Roeva O., et al. An Effective Hybrid Metaheuristic Approach Based on the Genetic Algorithm. Mathematics (MDPI), 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7390/12/23/3815> (дата звернення: 26.12.2025)
5. Rajwar K., et al. Evolutionary Algorithms and Metaheuristics: a brief overview. PMC – National Institutes of Health, 2023. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10103682/> (дата звернення: 26.12.2025)

**DOI 10.70286/EOSS-29.12.2025.008**

## **ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ У ФІЗІОТЕРАПЕВТИЧНІЙ АПАРАТУРІ**

**Олійник Володимир**

к.т.н., доцент

**Зінченко Олександр**

аспірант

Кафедра радіоелектронних та біомедичних  
комп'ютеризованих засобів і технологій

Національний аерокосмічний університет  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

**Вступ.** Як відомо, фізіотерапія ґрунтується на використанні природних, або штучно створених фізичних факторів впливу на людину з лікувальним чи профілактичним ефектами. У кожному випадку діючий фактор створюється, формується, вимірюється спеціальними технічними засобами. Цілий ряд визнаних в медичній практиці апаратів використовують безпосередньо, чи опосередковано електричний розряд в атмосферному повітрі або в спеціальній

суміші газів. До них відносяться: електростатичний душ (франклізація), дарсонвалізація, ультратонова терапія, інформаційно-хвильова терапія, довго- та короткохвильова ультрафіолет-терапія, аероіонотерапія [1].

Перераховані апарати орієнтовані на дію основного фізичного фактору впливу на організм, як наприклад: електризація та поляризація біотканин в електростатичному полі, протікання струмів зміщення в змінному або імпульсному електричному полі, випромінювання в діапазоні надвисоких частот, ультрафіолетове випромінювання оптичного діапазону, аероіони кисню з від'ємним зарядом.

Але виникнення і протікання газового розряду є сукупністю цілого ряду фізичних процесів. Тому, **метою даної роботи** є визначення додаткових (не основних) факторів впливу газового розряду на організм пацієнта, які в поєднанні з основним, викликають підсумковий біологічний ефект. До таких факторів відносять електричні та магнітні явища в плазмі, у тому числі, і електромагнітне випромінювання в діапазонах біологічно-значимих частот.

**Основна частина.** За визначенням, газовий розряд – сукупність процесів, що виникають при протіканні електричного струму через речовину, що знаходиться в газоподібному стані [2]. Зазвичай перебіг струму стає можливим тільки після достатньої іонізації газу і утворення плазми. Іонізація в електричному полі відбувається за рахунок зіткнень носіїв заряду (в основному електронів та іонів), що прискорюються в електромагнітному полі, з атомами і молекулами газу. Узагальнений енергетичний баланс процесу іонізації в електричному полі можна представити як –

$$Uq = A_i + h\nu + W_k,$$

де:  $U$  – напруга прискорюючого електричного поля,  $q$  – заряд частки,  $A_i$  – робота яка витрачається на іонізацію,  $h\nu$  – енергія кванта електромагнітного випромінювання ( $\nu$  – частота,  $h$  – стала Планка),  $W_k$  – сумарна кінетична енергія часток після зіткнення. Вказані складові енергетичного балансу мають ймовірнісні характеристики, але для виникнення іонізації повинна обов'язково виконуватись умова  $Uq > A_i$ . Величина  $A_i$  характеризується потенціалом іонізації, який залежить від виду газу. Якщо, після первинного процесу іонізації  $W_k > A_{iH}$  та, або  $h\nu > A_{iH}$ , де  $A_{iH}$  значення роботи на іонізацію газів з меншим іонізаційним потенціалом, то можливі повторні ударна і фотоіонізація. Зауважимо, що у повітряній суміші газів, кисень має один з найнижчих потенціалів іонізації 13,6 еВ. Це ефективно використовується газорозрядних генераторах аероіонів.

Процеси іонізації врівноважуються процесами рекомбінації – виникненням нейтральних атомів при захваті позитивними іонами електронів. Рекомбінація іонів супроводжується виділенням енергії у вигляді квантів електромагнітного випромінювання відповідної довжини хвилі. Це випромінювання відносять до характеристичного (з лінійчатим спектром) і супроводжуються світінням газу в оптичному діапазоні.

Ще один різновид електромагнітних процесів в іонізованому газі (плазмі) виникає гальмуванням руху прискорених електронів при зіткненнях з атомами і молекулами. Цей процес породжує гальмівне випромінювання з неперервним спектром, який охоплює діапазон електромагнітних хвиль від радіочастотного до рентгенівського. Також, безперервний спектр має теплове випромінювання плазми.

Теоретично, в складові електромагнітних явищ в плазмі відносять випромінювання Вавілова – Черенкова та магнітогальмівне, але їх вклад для режимів розрядів медичної техніки незначний [2].

Також, електричні струми розряду породжують магнітні поля динаміка яких корелюється з типом розряду.

Незалежно від конкретного типу газового розряду та способу його формування необхідно враховувати безпосередню близькість фізіотерапевтичного апарату до області дії і навіть, його контакт, з біотканинами. Необхідна напруга, яка забезпечує електричний розряд в газовій суміші становить від сотень вольт до десятків кіловольт. Тому виникає необхідність забезпечення гальванічної ізоляції апаратних засобів від біооб'єкту, або безпечної відстані до зони впливу. Очевидно, що дія тих чи інших факторів впливу буде суттєво залежати від відстані між пацієнтом і апаратом.

В якості об'єкту аналізу був узятий реальний зразок апарату інформаційно-хвильової терапії «ІХТ-Поріг», рис. 1.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд апарату «ІХТ-Поріг» без узгоджувальної насадки

Чинним фактором цього пристрою є електромагнітне шумоподібне випромінювання надмалої інтенсивності ( $10^{-15} \dots 10^{-20}$  Вт/см<sup>2</sup>), в смузі частот до 300 ГГц, зі специфічними динамічними параметрами. Причому, основні біологічні ефекти пов'язують з випромінюванням в діапазоні 50 ... 70 ГГц [3]. У цьому приладі використаний періодичний імпульсний іскровий розряд в системі електродів. Система електродів розташована в області збудження конічної діелектричної антени міліметрового діапазону хвиль. Виникаючий розряд формує ряд діючих на живий організм електромагнітних факторів.

Тому, дамо якісну оцінку чинним електромагнітним факторам для розглянутого випромінювального пристрою.

Нехай  $\lambda$  – довжина хвилі відповідного електромагнітного процесу в розряді, а  $l$  – відстань до біологічного об'єкту, тоді при  $\lambda \ll l$ , область впливу знаходиться хвильовій зоні. Така умова справедлива для діапазону частот 30... 300 ГГц.

Фізичні механізми впливу випромінювання в цьому діапазоні частот визначаються: глибиною проникнення випромінювання в біотканини (що пов'язано з процесами поглинання електромагнітного випромінювання біоструктурами), явищем укорочення довжини хвилі в біотканинах, інтерференційними явищами, резонансним поглинанням молекулярних структур, а також явищами резонансних поглинань внаслідок явища Зеемана [3].

Локалізація дії визначатиметься діаграмою спрямованості антени випромінювача. Ефективний спектр частот випромінювання, також буде характеризуватися виборчими властивостями застосованої антени [4].

Потребує також оцінки робота подібного випромінювача в ближній зоні взаємодії з біооб'єктом. Якщо довжина хвилі  $\lambda \gg l$ , хвильовий процес відсутній. Таким чином при відстанях  $l = 1 \dots 10$  см для частот від одиниць -десятків герців до 300 МГц ( $\lambda = 1$  м,  $\lambda \gg l$ ) механізм впливу на біоструктури пов'язаний переважно з компонентами напруженості електричного поля  $E$  і в деякій мірі магнітного поля  $H$  створюваного струмом іскрового розряду. Домінуючим діючим фактором впливу в даному випадку будуть струми зміщення, що замикають електричне коло внаслідок ємнісних властивостей біотканин.

У випадку, коли  $\lambda \approx l$ , область впливу знаходиться в зоні, де можуть бути одночасно значущими фізичні механізми, розглянуті для випадків  $\lambda \gg l$  і  $\lambda \ll l$ . Перевага того чи іншого механізму буде істотно залежати від конкретного значення параметра  $l$ .

**Висновки.** Використання газових розрядів в медичній техніці потребує наявності високих постійних, змінних або імпульсних електричних напруг. В біологічних структурах які перебувають в зоні безпосередньої дії електричного поля виникають процеси характерні для речовин з іонною провідністю. Результатом розряду є іонізація газу – виникнення плазми і аероіонів. Для плазми характерне електромагнітне випромінювання, спектр якого охоплює радіочастотний і оптичний діапазони, а в окремих випадках сягає низькоінтенсивного рентгенівського.

Таким чином, біологічну дію газорозрядної фізіотерапевтичної апаратури необхідно оцінювати з урахуванням не тільки основного чинника, а і додаткових факторів, які в сукупності відповідають за позитивний лікувальний результат.

### Список використаних джерел

1. Олійник, В. П. Терапевтичні апарати і системи: навч. посіб. / В. П. Олійник, Д. В. Теличко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2022. – 88 с.
2. Reizer, Ju.P. Gas Discharge Physics. – Springer. – 2001. – 449 p.
3. Олійник, В. П. Оцінка випромінювальних властивостей апарату для інформаційно-хвильової терапії / В.П. Олійник, С. М. Куліш // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: Науково-технічний журнал – Х.: Нац. аерокосм. ун-т „Харьк. авиац. ин-т”, 2016, №5 (79). – С. 155 – 159.