

**О.П. Яненко, д.т.н., проф.****С.М. Перегудов, к.т.н., доц.****К.Л. Шевченко, д.т.н., проф.***Національний технічний університет України ім. Ігоря Сікорського  
«Київський політехнічний інститут»***Б.П. Грубник, к.мед.н., доц.***Фізіотерапевтична поліклініка, Київ*

## Особливості мікрохвильових випромінювань матеріалів для фізіотерапії

*У роботі розглянуто особливості мікрохвильових випромінювань матеріалів для фізіотерапії. На прикладі озокерито-парафінових аплікацій досліджено наявність та зміни рівня випромінювання в міліметровому діапазоні протягом технологічного циклу процедури. Показано, що важливою складовою фізіотерапевтичних процедур є мікрохвильове електромагнітне випромінювання, утворюване нагрітою озокерито-парафіною сумішшю. З використанням розробленої авторами експериментальної установки проведено дослідження випромінювальної здатності озокериту, парафіну та їх сумішей у мікрохвильовому діапазоні. Проведено порівняння потужності випромінювання матеріалів з рівнем випромінювання тіла людини. Показано, що в процесі проведення процедури зміна температури призводить до появи позитивних та від'ємних потоків мікрохвильового випромінювання, які по-різному впливають на тіло людини. Отримані результати експериментальних досліджень дозволили оцінити взаємодію електромагнітного випромінювання озокерито-парафінових сумішей з власним електромагнітним випромінюванням людини та більш зважено підходити до вибору режимів лікування.*

**Ключові слова:** мікрохвильове електромагнітне випромінювання; фізіотерапевтична процедура; озокерито-парафінова суміш; режим лікування.

**Актуальність теми.** Пелоїди (лікувальні грязі) та парафін є найбільш поширеними речовинами, що використовуються під час проведення фізіотерапевтичних процедур шляхом теплового впливу на ділянку тіла пацієнта, що потребує лікування [1–4]. Серед них озокерит має найбільшу теплоємність і теплоутримуючу здатність та найменшу теплопровідність. До складу озокериту входять церезин (60...85%), парафін (3...7%), нафтові масла (5...10%) і в невеликій кількості асфальтени, бітумоподібні речовини, метан, етилен та ін. [1]. Саме теплофізичні характеристики, утворювані його компонентами, обумовлюють лікувальну дію озокериту. До лікувальних ефектів озокериту, перш за все, слід зарахувати протизапальну та судинорозширюючу дію. Окрім того, дія озокериту має також ацетилхоліноподібний, естрогеноподібний та хімічний характер [3].

Парафін, що являє собою білу безводну речовину, також відрізняється низькою теплопровідністю, високою теплоутримуючою здатністю, проте характеризується відсутністю хімічної активності.

Тому для фізіотерапевтичних процедур застосовують озокерито-парафінові суміші, які, окрім теплової дії, здійснюють і механічний вплив, оскільки при охолодженні зменшується їх об'єм і спостерігається компресійна дія на ділянку лікування. До того ж експериментально доведено, що під час зазначених процедур збільшується проникність шкіри, що спричиняє посилений розпад білків і, як наслідок, через ефект «подразнення» прискорення процесів регенерації [2]. Отже, у спеціалізованій літературі, яка описує фізіотерапевтичні процедури застосування озокериту та парафіну, виокремлюють три основні фактори, які при контакті з ділянкою поверхні тіла впливають як безпосередньо на зону лікування, так і на організм пацієнта в цілому: термічний, механічний та хімічний [1].

Відомо, що нагрівання будь-якого фізичного тіла викликає появу низькоінтенсивного шумоподібного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) в широкому діапазоні частот. Низькоінтенсивне випромінювання радіо- і оптичного діапазонів використовуються в різноманітних видах терапії: мікрохвильовій (міліметровій), низькорівневій оптичній (ЛГТТ) та інших [5–7], які застосовуються для впливу на біологічно активні точки і зони й окремі ділянки поверхні шкіри пацієнтів, з метою нормалізації стану організму людини. Найбільш застосовуваний діапазон частот, який використовується в апаратурі для міліметрової терапії, знаходиться в межах 30...120 ГГц, в оптичному діапазоні найчастіше застосовують випромінювання з довжиною хвиль 60...280 нм [7–9]. Враховуючи зазначене, можна очікувати, що загальний терапевтичний ефект обумовлюватиметься не тільки тепловою, а і мікрохвильовою складовими під час виконання лікувальних процедур. Тому поглиблене

вивчення спектрального складу та випромінювальної здатності матеріалів, що використовуються у фізіотерапії, зокрема в озокерито-парафіновій терапії, є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Зокрема, аспектам застосування озокерито-парафінової суміші у фізіотерапії присвячено публікації Л.Ніколової [2], В.С. Улащика [3], Г.Н. Пономаренка [4] та інших. Важливість врахування впливу низькоінтенсивного мікрохвильового випромінювання відображено у працях О.П. Яненка та інших [5, 9] і оптичного випромінювання – у працях Дж.Ройяса [6] та А.М. Коробова [8]. Умови виникнення позитивних та негативних потоків електромагнітного випромінювання вказані у статтях О.П. Яненко та ін. [5, 9, 11], а приклади їх застосування у медичній практиці наведені Б.П. Грубником та іншими у праці [10] і Ю.О. Скрипником та іншими у працях [7, 9, 11].

**Метою статті** є проведення експериментальних досліджень випромінювальної здатності в мікрохвильовому діапазоні озокериту та парафіну, а також їх сумішей. Як зазначалося вище, мікрохвильове електромагнітне випромінювання є супутнім фактором під час проведення відповідних фізіотерапевтичних процедур. Цей фактор, як правило, не враховується, проте може суттєво впливати на функціональний стан організму [5, 7]. Тому доцільно визначити рівень власного ЕМВ матеріалів, насамперед, в міліметровому діапазоні довжин хвиль, для подальшого врахування його впливу під час проведення фізіотерапевтичних процедур.

**Теоретичні відомості та основи дослідження.** Обмін тепловою енергією між поверхнями аплікатора з озокерито-парафінової суміші та шкіри пацієнта може здійснюватися в основному завдяки явищам теплопровідності електромагнітного випромінювання.

Явище теплопровідності описується відомим законом Фур'є:

$$P_T = \lambda \text{grad} T \cdot \sigma_0, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності речовини або біотканини;

$\text{grad} T$  – градієнт температур між озокерито-парафіновим аплікатором та шкірою;

$\sigma_0$  – площа поверхні аплікатора, що контактує зі шкірою.

Відомо також, що під час нагрівання фізичні тіла випромінюють електромагнітні хвилі в широкому діапазоні частот. Відповідно до закону Планка, спектральний розподіл густини електромагнітної енергії, випромінюваної елементом одиничного об'єму тіла, описується формулою:

$$S(f, T) = \beta h f \left[ \frac{1}{\exp(hf/kT) - 1} + \frac{1}{2} \right], \quad (2)$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана;

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка;

$T$  – температура тіла;

$f$  – частота випромінювання;

$\beta$  – коефіцієнт випромінювальної здатності об'єкта (для абсолютно чорного тіла  $\beta = 1$ ).

Оскільки суттєво на стан живого організму впливає випромінювання міліметрової частини мікрохвильового діапазону [7, 9, 10], для якого виконується співвідношення  $hf/kT$ , то (2) переходить у формулу Найквіста:

$$S(f, T) = \beta k T, \quad (3)$$

і відповідно у діапазоні частот  $\Delta f$  радіометричний приймач здатний зафіксувати потужність випромінювання нагрітого тіла:

$$P = S(f, T) \Delta f = \beta k T \Delta f. \quad (4)$$

Проте коефіцієнти випромінювальної здатності аплікатора  $\beta_A$  та біотканини  $\beta_H$  різняться, внаслідок чого між ними утворюються потоки обміну ЕМВ, які можна визначити як

$$\Delta P = (\beta_H - \beta_A) k T \Delta f. \quad (5)$$

Причому по відношенню до тіла людини можуть реалізуватись як додатні (позитивні) потоки, коли аплікатор випромінює більше ніж шкіра пацієнта, так і від'ємні (негативні), коли навпаки. В останньому випадку запальний процес може додатково пригнічуватися [5, 10–13].

Слід зазначити, що випромінювальна здатність озокерито-парафінового аплікатора  $\beta_A$  визначається кутом діелектричних втрат  $\delta_A$  і діелектричною проникністю  $\varepsilon_A$  складових суміші озокериту та парафіну, які слід вважати залежними від температури. Крім того, слід враховувати також частотну залежність зазначених характеристик, яка особливо характерна для міліметрового діапазону, причому як для фізичних матеріалів, так і для біотканин [12]. Таким чином, слід вважати, що для аплікатора коефіцієнт випромінювальної здатності є функцією двох змінних  $\beta_A(f, T)$ , а для поверхні шкіри

пацієнта – одної змінної  $\beta_H(T)$ . Причому їх температурні залежності різняться. Усе це суттєво ускладнює теоретичний аналіз процесу енергетичної взаємодії.

Коефіцієнт випромінювальної здатності аплікатора у мікрохвильовому діапазоні, враховуючи специфіку фізіотерапевтичних процедур, доцільно визначати відносно поверхні шкіри пацієнта за формулою:

$$\beta_A(f, T) = P_A(f, T) / P_H(f). \quad (6)$$

де  $P_A$ ,  $P_H$  – інтегральна потужність випромінювання відповідно аплікатора та поверхні шкіри людини у робочій смузі частот радіометричного приймача.

Враховуючи наведене вище та відсутність літературних даних щодо наявності та рівня мікрохвильової компоненти розглянутих матеріалів, яка значно впливає на біологічні об'єкти, авторами було проведено експериментальне дослідження випромінювальної здатності озокерито-парафінової суміші з урахуванням особливостей технологічного процесу лікування.

**Апаратура та методика проведення дослідження.** Для дослідження випромінювальної здатності в мікрохвильовому діапазоні були використані матеріали, які найбільш часто застосовуються в фізіотерапії – озокерит з родовища Борислава, Львівської області, ВАТ «ТД Екомед», з датою виготовлення «січень 2019 рік», а також очищений парафін з аптечної розфасовки.

Дослідження мікрохвильових параметрів обраних матеріалів, враховуючи зазначені особливості фізичних тіл під час нагрівання, проводилося за такою методикою. Досліджуваний матеріал розміщувався у металевому контейнері циліндричної форми радіусом 10 мм (що за величиною збігалось з радіусом апертури рупорної приймальної антени) та висотою 12 мм. Спочатку контейнер з матеріалом нагрівався у термостаті типу ТС-80М-2 до заданої максимальної технологічної температури (50 °С), значення якої автоматично контролювалося з точністю  $\pm 0,25$  °С. Додатково температура нагріву контролювалася спиртовим термометром. Нагрівання зразків проводилося протягом 30 хв після виходу термостата на встановлений режим. Вимірювання потужності електромагнітного мікрохвильового випромінювання зразків матеріалів проводилося за допомогою експериментальної установки, структурна схема якої наведена на рисунку 1.

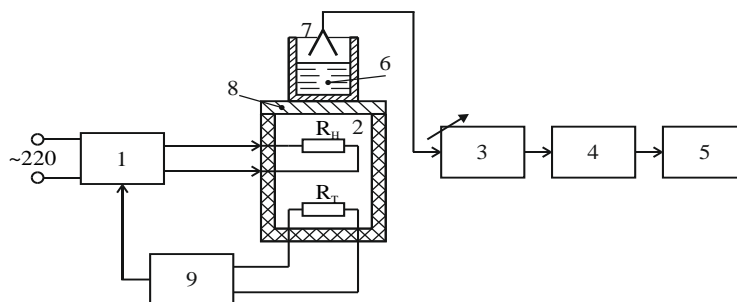


Рис. 1. Структурна схема експериментальної установки для оцінки випромінювальної здатності матеріалів у мікрохвильовому діапазоні

До складу експериментальної установки входять: 1 – джерело живлення; 2 – терморегулятор; 3 – атенозатор; 4 – канал перетворення мікрохвильового електромагнітного випромінювання; 5 – вимірювальний прилад; 6 – досліджуваний матеріал у контейнері; 7 – приймальна рупорна антена конічної форми; 8 – металева пластина термостата; 9 – регулятор температури.

Температуру на пластині підігрівача-термостата 8, за допомогою регулятора температури 9, попередньо встановлювали однаковою з температурою термостата ТС. Вимірювання температури пластини проводили за допомогою контактного термометра цифрового вольтметра В7-27А. Під час вимірювань приймальна антена розміщувалася безпосередньо біля контейнера.

**Апаратура та методика проведення дослідження.** Під час проведення дослідження мікрохвильових параметрів матеріалів проводилося вимірювання та оцінка:

- середнього рівня випромінювання поверхні шкіри людини (долоні рук двох респондентів);
- зміни рівня випромінювання, за повторного використання озокериту протягом курсу лікування з добавкою свіжого матеріалу;
- рівня випромінювання чистого озокериту та парафіну за максимальної терапевтичної температури матеріалів (+50 °С);
- зміни рівня потужності ЕМВ матеріалів у процесі їх охолодження;
- рівня потужності ЕМВ озокериту залежно від відсотка домішок парафіну;
- порівняння випромінювальної здатності матеріалів з середнім рівнем випромінювання тіла людини.

Враховуючи, що озокерит та парафін є складовими покладів природної нафти, авторами додатково проведено також вимірювання рівня випромінювання зразка нафти з родовища «Академіка Шпака» НАК «Нафтогаз» України, який склав  $2,3 \cdot 10^{-13}$  Вт.

Середній рівень потужності випромінювання поверхні долоні людини (обмеженої площиною апертури антени  $2 \text{ см}^2$ ) двох респондентів, виміряний за допомогою РС, склав  $P_H = (4,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-13}$  Вт у смузі частот  $52 \pm 0,1$  ГГц або з урахування площі апертури вимірювальної антени,  $2,25 \cdot 10^{-13}$  Вт/см<sup>2</sup>.

Зазвичай рекомендований курс лікування становить до 10 процедур з 25 % добавкою свіжого матеріалу перед кожною процедурою. Вимірювання відібраних зразків протягом курсу лікування суттєвих змін параметрів ЕМВ залежно від добавок свіжих порцій озокериту не виявили.

Розподіл відносної випромінювальної здатності озокерито-парафінової суміші з різними відсотковими домішками парафіну та динамічні зміни рівня випромінювання матеріалів у процесі їх охолодження наведено на рисунку 2.

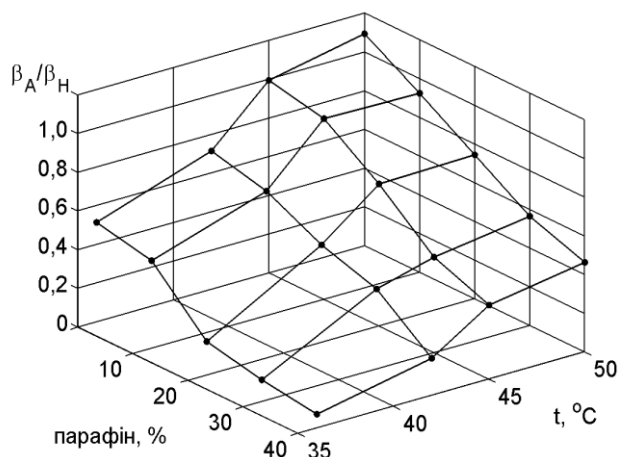


Рис. 2. Залежність відносної випромінювальної здатності озокерито-парафінової суміші від температури та змісту парафіну

Абсолютні значення рівня ЕМВ за максимальної терапевтичної температури  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  наведено в таблиці 1, з яких видно, що рівень випромінювання чистого озокериту за максимальної терапевтичної температури матеріалів ( $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) становить  $5,1 \cdot 10^{-13}$  Вт (або  $\approx 2,55 \cdot 10^{-13}$  Вт/см<sup>2</sup>) і зіставлений з ЕМВ тіла людини. Рівень ЕМВ чистого парафіну за цієї температури сягає тільки  $0,71 \cdot 10^{-13}$  Вт, що набагато менше, ніж у людини і може стати причиною формування від'ємного потоку ЕМВ. Причому інтенсивність такого потоку збільшується зі збільшенням його відсоткового змісту у суміші з озокеритом.

Таблиця 1

Рівень випромінювання та випромінювальна здатність за терапевтичної температури  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$

№ з/п	Об'єкт досліджень		$P, 10^{-13}$ Вт	$\beta_A/\beta_H$
1	Суміш (у %):			
	озокерит	парафін		
	100	0		
	90	10		
	80	20		
	70	30		
	60	40		
	0	100		
2	Нафта		2,3	0,51
3	Людина		4,5	1

**Висновки та перспективи подальших досліджень:**

1. Таким чином, як показали експериментальні дослідження, матеріали, що використовуються в озокерито-парафіновій фізіотерапії, формують низькоінтенсивні електромагнітні випромінювання, які поряд з тепловою дією впливають на організм пацієнта.

2. Залежно від температури аплікатор з чистого озокериту за максимальної температури формує низькоінтенсивний додатний потік ЕМВ. Зниження температури аплікатора менше 50 °С призводить до формування від'ємного потоку ЕМВ, який збільшується при подальшому його охолодженні.

Сумарна потужність озокеритного аплікатора, наприклад, розміром 100 см<sup>2</sup>, може скласти  $2,55 \cdot 10^{-11}$  Вт, що зіставляється з рівнями, які використовуються в міліметровій терапії [5, 13].

3. Використання озокерито-парафінової суміші в діапазоні терапевтичних температур призводить до формування від'ємного потоку ЕМВ, який збільшується при збільшенні відсотка парафіну в суміші.

4. Експериментальні дослідження ЕМВ матеріалів для озокерито-парафінової терапії показали складність електромагнітних мікрохвильових процесів, які впливають та взаємодіють з електромагнітним полем організму людини і потребують їх врахування під час проведення фізіотерапії.

**Список використаної літератури:**

1. Посібник з фізіотерапії / за ред. С.М. Фіногенова. – К. : Здоров'я, 1973 – 260 с.
2. Специальная физиотерапия / под ред. Л.Николовой. – София : Медицина и физкультура, 1983. – 433 с.
3. Улащик В.С. Общая физиотерапия : учебник / В.С. Улащик, И.В. Лукомский. – Минск : Книжный дом, 2008. – 512 с.
4. Физиотерапия: Национальное руководство / под. ред. проф. Г.Н. Пономаренко. – М. : ГЭОТАР Медиа, 2009. – 864 с.
5. Апаратура та технології низькоінтенсивної міліметрової терапії / О.П. Яненко, С.М. Перегудов, І.В. Федотова, О.Д. Головчанська // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – Вип. 59. – С. 103–110.
6. Rojas J.C. Low-level light therapy of the eye and brain / J.C. Rojas, F.Gonzalez-Lima // Eye and Brain. – 2011. – № 3. – P. 49–67.
7. Сит'ко С.П. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины / С.П. Сит'ко, Ю.А. Скрипник, А.Ф. Яненко. – К. : ФАДА, ЛТД, 1999. – 199 с.
8. Коробов А.М. Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва» / А.М. Коробов, В.А. Коробов, Т.А. Лесная. – Харьков : ХНУ им. В.Н. Каразина, 2008. – 175 с.
9. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / Ю.А. Скрипник, А.Ф. Яненко, В.Ф. Манойлов и др. ; под общ. ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир, 2003. – 408 с.
10. Применение низкотемпературных генераторов шума в практической медицине / Б.П. Грубник, Е.Н. Горбань, С.Н. Перегудов и др. // Український журнал медичної техніки і технології. – 2005. – № 1–2. – С. 16–23.
11. Microwave Evaluation of Electromagnetic Compatibility of Dielectric Remedial and Therapeutic Materials with Human Body / O.Yanenko, K.Shevchenko, V.Malanchuk, O.Golovchanska // International Journal of Materials Research. – USA, 2019. – Vol. 7, No. 1. – P. 37–43.
12. Conn's Handbook of Models for Human Aging (Second Edition) / in Jeffrey L. Ram, P. Michael Conn ed. – Academic Press, 2018. – 1218 p.
13. Yanenko O. Low-intensive microwave ave signals in biology and medicine / O.Yanenko // Journal of Human Physiology. – Singapore, 2019. – Vol. 01, Issue 01. – P. 29–41.

**References:**

1. Finogenov, S.M. (ed.) (1973), *Posibnyk z fizioterapii'*, Zdorov'ja, Kyi'v, 260 p.
2. Nikolova, L. (ed.) (1983), *Special'naya fizioterapiya*, Meditsina i fizkul'tura, Sofija, 433 p.
3. Ulashchik, V.S. and Lukomskii, I.V. (2008), *Obshchaya fizioterapiya*, uchebnyk, Knizhnyi dom, Minsk, 512 p.
4. Ponomarenko, G.N. (ed.) (2009), *Fizioterapiya: Nacional'noe rukovodstvo*, GEOTAR Media, Moskva, 864 p.
5. Janenko, O.P, Peregudov, S.M., Fjedotova, I.V. and Golovchanska, O.D. (2014), «Equipment and technologies of low intensity millimeter therapy», *Visnyk NTUU «KPI»*, Serija *Radiotekhnika. Radioaпаратobuduvannja*, No. 59, pp. 103–110.
6. Rojas, J.C. and Gonzalez-Lima, F. (2011), «Low-level light therapy of the eye and brain», *Eye and Brain*, No. 3, pp. 49–67.
7. Sit'ko, S.P., Skripnik, Yu.A., and Yanenko, A.F. (1999), *Apparaturnoe obespechenie sovremennykh tekhnologii kvantovoi meditsyny*, FADA, LTD, Kiev, 199 p.
8. Korobov, A.M., Korobov, V.A., and Lesnaya, T.A. (2008), *Fototerapevticheskie apparaty Korobova serii «Barva»*, HNU imeni V.N. Karazina, Khar'kov, 175 p.
9. Skripnik, Yu.A., Yanenko, A.F., Manoilov, V.F. et al. (2003), *Mikrovolnovaya radiometriya fizicheskikh i biologicheskikh ob'ektov*, in Skripnik Yu.A. (ed.), Volyn', Zhitomir, 408 p.
10. Grubnik, B.P., Gorban', E.N., Peregudov, S.N. et al. (2005), «Primenenie nizkotemperaturnykh generatorov shuma v prakticheskoi meditsine», *Ukrai'ns'kyj zhurnal medychnoi' tekhniki i tekhnologii'*, No. 1–2, pp. 16–23.

11. Yanenko, O., Shevchenko, K., Malanchuk, V. and Golovchanska, O. (2019), «Microwave Evaluation of Electromagnetic Compatibility of Dielectric Remedial and Therapeutic Materials with Human Body», *International Journal of Materials Research*, USA, Vol. 7, No. 1, pp. 37–43.
12. Ram, J.L. and Conn, P.M. (2018), *Conn's Handbook of Models for Human Aging*, Academic Press, 1218 p.
13. Yanenko, O. (2019), «Low-intensity microwave wave signals in biology and medicine», *Journal of Human Physiology*, Vol. 01, Issue 01, Singapore, pp. 29-41

**Яненко** Олексій Пилипович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України ім. Ігоря Сікорського «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- мікрохвильова радіометрія фізичних та біологічних об'єктів
- метрологічне забезпечення вимірювання параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ- та НЗВЧ-діапазонів;
- електронна апаратура діагностичних та лікувальних технологій.

E-mail: or291@meta.ua.

**Перебудов** Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України ім. Ігоря Сікорського «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- мікрохвильова радіометрія фізичних та біологічних об'єктів;
- мікрохвильова техніка.

E-mail: pereg@i.ua.

**Шевченко** Костянтин Леонідович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України ім. Ігоря Сікорського «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- мікрохвильова радіометрія фізичних та біологічних об'єктів.
- радіовимірювання;
- автоматизація експериментальних досліджень.

E-mail: autom@meta.ua.

**Грубник** Борис Петрович – кандидат медичних наук, головний лікар Фізіотерапевтичної поліклініки, м. Київ.

Наукові інтереси:

- фізіотерапія;
- мікрохвильова резонансна терапія.

E-mail: grubnik\_b@bigmir.net.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2021.