

tracing method, since the essence of the method is the successive time-sensing of the eye with a thin laser beam. However, devices created on the basis of this method require a complex optical system of high-speed scanning of the beam along the eye's pupil, and the photoreceptive part of the aberrometers has additional optical losses due to the use of beam splitters. Therefore, the problems are of relevance, the solution of which will ensure the simplification of ray-tracing scanning systems and, as a consequence, cheaper aberrometric systems.

The article proposes the device, where a complicated scanning system is replaced by a multichannel laser emitter, at the outputs of which are installed elements of the optics that are optically connected to the multichannel optic-fiber line. The photodetector is located in a multichannel fiber optic line, which allows to refuse the use of beam splitters. The data obtained from the measurement using the device is processed and visualized with the developed program in the LabVIEW graphical programming environment. Implementation of this device for the ray-tracing of the eye aberrometry will reduce the total cost of the hardware and software complex several times in comparison with the foreign analogues. In addition, the absence of beam splitters in the proposed solution allows simultaneous simplification of the design of the aberrometric complex and to improve the accuracy of measurement and the information capacity of the ray reflected from the retina. Further research is aimed to develop model apprehension about methods and means of constructing an aberration map of the pupil of the eye, taking into account instrumental errors, increasing the accuracy and resolution of the method of ray-tracing aberrometry.

**Keywords:** aberrometry, ray-tracing method, wavefront function, LabVIEW.

*Надійшла до редакції  
18 жовтня 2018 року*

*Рецензовано  
02 листопада 2018 року*

УДК 615.849.11

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ

*Плакса Д. В., Терещенко М. Ф., Матвієнко С. М.*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

*Email: [agfarkpi@i.ua](mailto:agfarkpi@i.ua)*

*Проведено дослідження впливу електромагнітного надвисокочастотного (НЗВЧ) випромінювання міліметрового діапазону на біологічні тканини та оцінено його тепловий вплив. Виконано оцінку інтенсивності НЗВЧ-випромінювання апарату «Поріг-3» у всіх режимах роботи. Встановлено відмінності впливу випромінювання залежно від виду біологічної тканини та параметрів навколишнього середовища. Проведено ряд експериментів з оцінки впливу НЗВЧ-випромінювання з врахуванням вікових змін шкіряного покриву та статевого розподілу зі змінами температури тканини залежно від тривалості процедури. Дослідження проводились в 5-ти цільових групах, розділених по віку, статі та характеру біологічної тканини. Визначено залежність зміни температури біологічного об'єкту від часу експозиції. В рамках досліджень здійснено математичне моделювання змін інтенсивності залежно від частоти, зміни температури біологічної тканини залежно від інтенсивності, визначено характер процесів впливу НЗВЧ-терапії. Пропонується та обґрунтовується математичний апарат, що дозволяє оптимізувати процес терапії, шляхом коригування її параметрів з врахуванням впливу навколишнього середовища та типу біологічної тканини, що дозволяє зробити лікування більш ефективним, безпечним та орієнтованим на індивідуальну чутливість пацієнта до впливу НЗВЧ-випромінювання. Розроблено методика підбору оптимальних параметрів НЗВЧ-терапії. Отримано формули визначення дози та інтенсивності випромінювання з врахуванням температурних градієнтів середовища. Встановлено та проаналізовано похибки значень дози та інтенсивності випромінювання.*

**Ключові слова:** *НЗВЧ-терапія, параметри випромінювання, тепловий вплив.*

### **Вступ**

Одним із основних завдань сучасної медицини є пошук засобу лікування, який має мінімальну кількість протипоказань і побічних ефектів та достатньо широку область клінічного використання. На сьогоднішній день такі вимоги можуть забез-

печуватись фізіотерапевтичними апаратами різного призначення, при чому як у режимі монотерапії, так і у комбінації з іншими апаратними і/або фармакологічними засобами [1].

Широкого поширення набули радіофізичні методи впливу на біологічні об'єкти і системи з

метою фізіологічної, імунної та психомоторної корекції процесів функціонування живих структур. Перспективним напрямком досліджень є розробка та вдосконалення апаратів, що базуються на низькоінтенсивній стимуляції біологічної тканини електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону [2].

#### Постановка задачі

У зв'язку з індивідуальним характером чутливості до фізіотерапевтичного впливу, для того, щоб отримати максимальний лікувальний ефект та контролювати безпеку пацієнта, необхідно обрати оптимальні параметри впливу та проводити їх контроль, при необхідності – коригувати протягом процедури.

Міліметрові хвилі характеризуються невисокою проникністю в біологічні тканини та високим поглинанням у воді і середовищах, що її містять. Таке випромінювання має ряд властивостей, які дають можливість його безпечного та корисного використання у терапевтичних цілях [3].

Встановлено, що НЗВЧ-випромінювання має пороговий характер стосовно зміни його потужності та часу випромінювання. В даному випадку біологічний вплив випромінювання не змінюється при збільшенні густини потужності відносно встановленого порогового значення. При цьому враховується час випромінювання, адже час відклику для кожної частини біологічної тканини організму є різним [4].

Вагому дію на результат терапії мають параметри випромінювання: експозиція, довжина хвилі, локалізація, густина потоку потужності, довготривалість курсу та початковий стан організму.

Для досягнення найкращого ефекту при застосуванні даних методів терапії враховують взаємодію клітин з зовнішнім електромагнітним полем на частотах, однакових або кратних їх власним, для встановлення резонансного впливу на клітини організму людини. Лікувальними частотами НЗВЧ-терапії вважають: 42,2 ГГц (довжина хвилі  $\lambda=7,1$  мм), 53,5 ГГц ( $\lambda=5,6$  мм) та 61,2 ГГц ( $\lambda=4,9$  мм) [5].

Перед фізіотерапевтичною процедурою для таких апаратів встановлюють терапевтичну частоту, зону впливу, час процедури, кількість сеансів, оптимальну терапевтичну дозу та частоту модуляції [6].

Терапевтична частота обирається із ряду рекомендованих для найбільш поширених захворювань чи патологій, але, при цьому, варіюється та уточнюється час впливу індивідуально, в процесі виконання самої процедури. Згідно даним клінічних досліджень найбільший лікувальний ефект досягається в діапазоні частот 52-78 ГГц [7].

Зона впливу визначається після постановки діагнозу за допомогою пошукових електричних апаратів. Час процедури має тривати від 10-15 до 20-30 хвилин, але враховують, щоб одна зона опромінювалась не більше 10-15 хвилин. Кількість

процедур, у середньому, складає від 7 до 14. Значення оптимальної терапевтичної дози визначається за формулою [7]

$$D = kPt\alpha / (\gamma\eta S), \quad (1)$$

де  $D$  – оптимальна терапевтична доза,  $k$  – коефіцієнт поглинання середовища, в якому розповсюджується випромінювання,  $P$  – потужність падаючого випромінювання,  $t$  – час опромінення,  $\alpha$  – коефіцієнт модуляції,  $\gamma$  – індивідуальна біологічна чутливість об'єкта,  $\eta$  – степінь ураження хворої ділянки,  $S$  – площа зони впливу. Частота модуляції визначається згідно частот ритмічних процесів, що відбуваються у організмі людини [8].

Але ця формула неповною мірою характеризує процес дії НЗВЧ-випромінювання на біологічну тканину. Не враховані впливи температури навколишнього середовища  $T_c$  та біологічної тканини  $T_{\text{ом}}$ . Таким чином, більш достовірною формула має вигляд

$$D_1 = kPtK_T / (\gamma\eta S), \quad (2)$$

де  $K_T = T_c / T_{\text{ом}}$  – коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища  $T_c$  та біологічної тканини  $T_{\text{ом}}$ .

Проведені нами, експериментальні дослідження показали, що результати опромінення відрізняються залежно від виду біологічної тканини та параметрів навколишнього середовища. Це означає, що коригування дози випромінювання, з огляду на вплив температур навколишнього середовища та біологічної тканини, виправдано для оцінки запланованих доз і забезпечення достовірності лікувального ефекту.

Метами математичного моделювання визначення дози опромінення за формулами (1) та (2). Для визначення розбіжності результатів розрахунків за класичною формулою (1) та отриманою нами (2), що містить коефіцієнт врахування впливу градієнту температури навколишнього середовища, розраховано абсолютну  $\Delta$  та відносну  $\delta$  похибки.

Параметри, що входять до формул (1) і (2) задані за методикою лікування НЗВЧ-випромінюванням трофічної виразки [6]. У якості температури середовища обрано  $T_c = 20^\circ\text{C}$  – середня температура у приміщенні протягом дослідження для більшої наочності порівняння,  $T_{\text{ом}} = 27^\circ\text{C}$  – початкова температура кінцівок при вимірюваннях температури експериментально. Згідно проведених розрахунків доза опромінення визначена за формулою (2) по відношенню до дози за (1) має абсолютну похибку  $\Delta = 1,8$  Дж/мм<sup>2</sup> та відносну  $\delta = 2,33\%$ , що означає можливість зменшити дозу опромінення без втрати лікувального ефекту.

В медичній практиці, частіше, використовують не значення оптимальної терапевтичної дози, а значення інтенсивності НЗВЧ-випромінювання, яку визначають за формулою Релея-Джинса [8]:

$$J_{\omega} = \frac{8\pi f^2}{c^2} \beta k T = \frac{8\pi}{\lambda^2} \beta k T, \quad (3)$$

де  $f$  – частота коливань,  $k$  – постійна Больцмана,  $T$  – термодинамічна температура тіла,  $c$  – швидкість світла,  $\beta$  – коефіцієнт випромінюючої здатності тіла,  $\lambda$  – довжина хвилі.

Так як, на покази приладу для вимірювання температури біологічного зразка, значним чином, впливає температура навколишнього середовища, ці варіації необхідно врахувати при виконанні фізіотерапевтичних процедур чи моделюванні процесу змін інтенсивності НЗВЧ-випромінювання. Таким чином, з врахуванням температур  $T_c$  навколишнього середовища формула визначення інтенсивності набуває вигляду:

$$J_{1\omega} = \frac{8\pi f^2}{c^2} \beta k T K_{T_c}, \quad (4)$$

де  $K_{T_c} = T_c / T$  – коефіцієнт, що враховує зміну температур  $T_c$  навколишнього середовища.

За отриманими виразами (2), (4) проведено математичне моделювання та практичні виміри впливу НЗВЧ-випромінювання на різні типи біологічної тканини залежно від частот та градієнтів температур.

При порівнянні отриманих результатів з врахуванням температурного градієнту, можна показати, що досягнуто більш достовірну оцінку лікувального ефекту, із-за більш точного та достовірного значення оптимальних терапевтичних доз та інтенсивності НЗВЧ-випромінювання, з врахуванням параметрів навколишнього середовища та дійсних значень впливу. Це забезпечує точне виконання Регламенту та Протоколу проведення фізіотерапевтичної процедури НЗВЧ-опромінення, в допустимих межах безпеки пацієнта.

#### Методика дослідження

Необхідність оцінки параметрів теплового впливу апаратами міліметрової терапії на біологічну тканину викликано потребами безпеки проведення процедури і зафіксувати зміни для оцінки ефективності терапії.

Проведено ряд експериментів з оцінки впливу -випромінювання з врахуванням вікових змін шкіряного покриву та статевого розподілу зі змінами температури тканини залежно від тривалості процедури. Дослідження проводились в 5-ти цільових групах, розділених по віку, статі та характеру біологічної тканини:

- Жінки віком до 30 років;
- Жінки віком від 30 років;
- Чоловіки віком до 25 років;
- Чоловіки віком від 25 років;
- Тканина тварин.

Зоною впливу для дослідження людей було обрано долоню руки, а для тваринних біологічних тканин – шкіра, жирова та м'язова тканини окре-

мо. Блок-схему установки для дослідження показано на рис. 1.

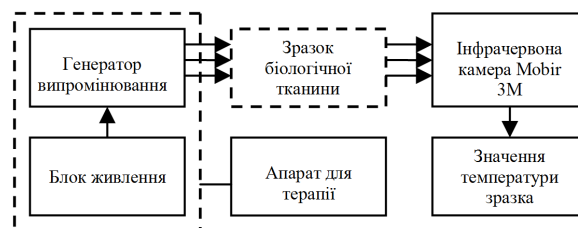


Рис. 1. Блок-схема установки для дослідження НЗВЧ-випромінювання

Для реалізації методу НЗВЧ - терапії використовуються різні типи апаратів: апарати, що генерують гармонічні сигнали незмінної частоти ("Явь-1", "Електроніка-НВЧ", "РАМЕД-ЭКСПЕРТ"), широкосмугові апарати, що випромінюють шумові сигнали ("Поріг-1", "Поріг-3", "Поріг-3М", "Арцах", "Шлем"), апарати, що утворюють і шумові, і гармонічні сигнали ("АМРТ-01", "Арцах"), апарати, що можуть формувати квазішумові сигнали ("АМТ-Коверт-04", "ARIA-SC") [9].

В даних дослідженнях терапії НЗВЧ-опромінення використовувався апарат «Поріг-3», який має робочий діапазон частот 37-53 ГГц і потужність випромінювання 0,1-1 нВт. Це портативний апарат для НЗВЧ-терапії, який складається з генератора НЗВЧ - випромінювання і блоку живлення.

Як пристрій для вимірювання температури випромінювання було вибрано матричний тепловізор Mobic 3M. Даний прилад має температурну чутливість порядку 0,1°C. На рис. 2 приведено фото установки для досліджень НЗВЧ-випромінювання.

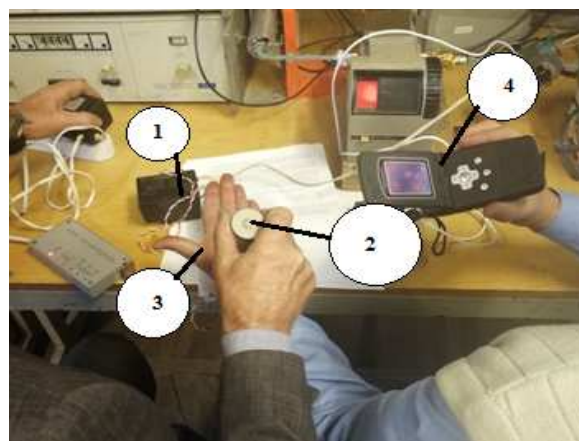


Рис. 2. Установка дослідження НЗВЧ - випромінювання: 1 – блок живлення; 2 – генератор НЗВЧ - випромінювання; 3 – біологічна тканина; 4 – інфрачервона (ІЧ)-камера Mobic 3M

При проведенні досліджень були виміряні інтенсивності випромінювання на різних частотах. Досліди проводились на кафедрах виробництва

приладів і радіоконструювання та виробництва радіоприладів НГУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», в лабораторії мікрохвильової радіометрії. В якості вимірювальної системи використано метрологічно-атестовану установку [9].

#### **Результати дослідження та обговорення**

В результаті проведених досліджень встановлено, що суттєве значення при впливі електромагнітних хвиль надвисокочастотного діапазону має характер і інтенсивність опромінення, його тривалість, площа опромінюваної поверхні тіла, довжина хвилі, індивідуальні особливості живої системи, зокрема конституційні параметри, а також тип нервової системи, вік, спадковість, шкідливі звички, стан імунітету, біологічний ритм, наявність в діапазоні резонансних частот для різних частин та систем тіла (шия, голова, нижні і верхні кінцівки, кровоносна, лімфо - та нервова системи).

При цьому відсутність масиву кровоносних судин в деяких частинах тіла робить їх особливо вразливими до опромінення надвисокими частотами. В цьому випадку теплота може поглинатися тільки оточуючими судинними тканинами, до яких вона може надходити тільки шляхом теплопровідності. Це зокрема справедливо для тканин ока і таких внутрішніх органів, як жовчний міхур, сечовий міхур і шлунково-кишковий тракт. Мала кількість кровоносних судин в цих тканинах ускладнює процес саморегулювання температури. Крім того, відображення від граничних поверхонь порожнин тіла і областей розташування кісткового мозку при певних умовах призводить до утворення стоячих хвиль. Надмірне зростання температури в окремих ділянках дії стоячих хвиль може викликати ушкодження біологічної тканини.

Для неживої біологічної тканини тварин характерне найменше поверхневе нагрівання біотканин та достатньо швидкий перехід зміни температури у стан стабілізації. Це може бути викликано відсутністю кровонасичення тканини, регенераційною та поглинальною здатністю шкіри, втраченою вологості та дійсний стан неживого – злипання ліпідних шарів мембран клітин для тварин.

Для груп до 30 років більший нагрів тканин та швидший перехід температури у стан стабілізації спостерігається для жінок, а для груп від 25 років – для чоловіків. Це може пояснюватись більш швидким процесом регенерації жіночої шкіри. Тваринна тканина займає найменші показники за усіма критеріями. Це може бути викликано і тим, що це нежива біотканина, зліплені ліпідні шари мембран клітин і те, що вимірювання для неї проводились взимку, при нижчих температурах.

Також причиною підвищення температури протягом дослідження може бути психологічна – тривога, переживання та інші сильні емоції, викликані проведенням терапії чи окремо, можуть спричинити виникнення даної фізіологічної реакції організму.

За отриманими результатами можна зробити висновок про достатньо високу безпеку процедури, оскільки нагрів тканин знаходиться в межах  $(0,1-0,2)^{\circ}\text{C}$ , а найбільш інтенсивний нагрів до насичення відбувається в перші 5-8 хвилин терапії, далі НЗВЧ-терапія, в основному, характеризується нетепловим впливом, а температура може змінюватись лише від власних фізіологічних процесів організму.

Подібні результати отримали і інші дослідники [10 - 13].

В рамках досліджень здійснено математичне моделювання змін інтенсивності залежно від частоти, зміни температури біологічної тканини залежно від інтенсивності, визначено характер процесів впливу НЗВЧ - терапії. Розраховано параметри НЗВЧ - випромінювання за формулами (3) і (4) та порівняно їх зі значеннями інтенсивностей, що отримані експериментально. Отримані результати приведені у вигляді графіків (рис. 3).

Для визначення розбіжності результатів розрахунків за класичною формулою (3) та отриманою (4), що містить коефіцієнт врахування впливу температур навколишнього середовища та біотканини, розраховано абсолютну  $\Delta$  та відносну  $\delta$  похибки.

Згідно проведених розрахунків інтенсивність, визначена за формулою (4) за відношенням до інтенсивності за формулою (3) і має абсолютну похибку  $\Delta=0,05 \times 10^{-9}$  Вт/мм<sup>2</sup> та відносну  $\delta=2,35\%$ , що означає можливість коригування інтенсивності опромінення без втрати лікувального ефекту.

У якості значень частоти використані дійсні параметри впливу НЗВЧ-терапії, а значень температури – обрані початково вимірювані температури за цільовими групами.

Як видно з наведених графіків, інтенсивність змінюється практично лінійно, зростаючи від збільшення частоти. Обраховані значення інтенсивностей та отримані експериментально знаходяться в одному діапазоні, які властиві для апаратів НЗВЧ-терапії.

Практично лінійний характер зміни інтенсивності дозволяє ефективно контролювати даний параметр шляхом вибору середовища (приміщення) проведення терапії з відповідним оптимальним температурним режимом.

Оскільки інтенсивність прямо пропорційно залежить від температури біологічної тканини, значення яких були виміряні при теплій порі року, тобто умовах більш високих температур навколишнього середовища, це означає доцільність поправки на вплив навколишнього середовища.

За формулою Релея-Джинса (3) проведені розрахунки та моделювання температури біологічної тканини з використанням значень інтенсивності, отриманих експериментально на різних частотах та визначення різниці отриманих температур. На рис. 3, б, в) наведено графік зміни температури біологічної тканини залежно від інтенсивностей, отриманих експериментально.

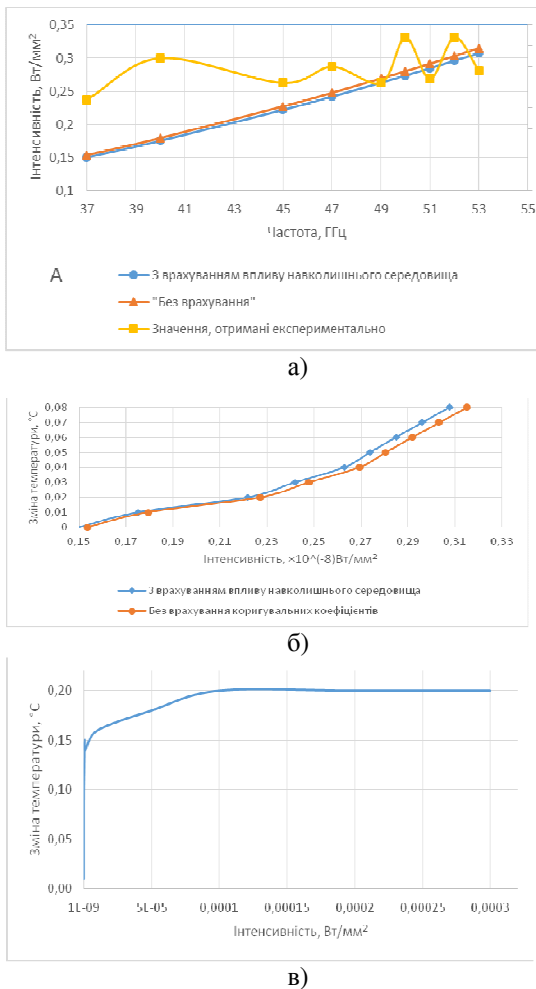


Рис. 3. Графіки розрахунково-експериментальних результатів моделювання: а) – залежність вихідної інтенсивності апарату «Поріг-3М» від частоти; б) – зміна температури залежно від інтенсивності опромінення; в) – виміряні значення залежності зміни температури від інтенсивності опромінення

За отриманими даними різниця між найбільшим і найменшим значеннями температури становить  $0,08^{\circ}\text{C}$ , що свідчить про високу безпеку процедури та вказує на її інформаційний вплив.

### Висновки

У даній статті проведено оцінку впливу НЗВЧ-випромінювання на біологічні тканини з аналізом даних літературних джерел, біологічних аспектів та принципів побудови таких апаратів. Результати експериментів по оцінці теплового впливу НЗВЧ-випромінювання на різні типи біологічних тканин та вимірюванню інтенсивності такого випромінювання показали, що спочатку відбувається незначне зростання температури на  $(0,1-0,2)^{\circ}\text{C}$  досліджуваної тканини зі збільшенням часу терапії, а починаючи з деякого моменту часу (5-8 хвилин) температура практично не змінюється. Для різних цільових груп форма графіків є подібною, але різняться максимальні амплітуди змі-

ни до  $0,2^{\circ}\text{C}$  температури, та час, починаючи з якого вона переходить у стан стабілізації. Суттєвий нагрів біологічних тканин, викликаний сторонніми факторами пояснює доцільність введення відповідних поправок на температуру навколишнього середовища при обчисленні оптимальних параметрів впливу.

Виконано математичне моделювання впливу сигналів НЗВЧ-випромінювання на різні типи біологічної тканини залежно від частот та градієнтів температур. Проведено порівняння розрахунків з та без урахування температурних градієнтів. Середні значення абсолютної та відносної похибок для дози опромінення складають  $\Delta=1,8$  Дж/мм<sup>2</sup> та  $\delta=2,33\%$ , для інтенсивності  $\Delta=0,05 \times 10^{-9}$  Вт/мм<sup>2</sup> та  $\delta=2,35\%$ .

Отримані дані використані для вдосконалення реальної математичної моделі, яка в подальшому може бути використана для максимізації лікувального ефекту шляхом підбору найбільш оптимальних безпечних параметрів терапії.

### Література:

- [1] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, М. В. Чухраєв, А. Ю. Кравченко, *Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої*. Київ, Україна: КП ім. Ігоря Сікорського, «Політехніка», 2018.
- [2] Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, В. Ф. Манойлов и др. *Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов*. Житомир, Украина: Вольт, 2003.
- [3] Е. Н. Чуян, Н. А. Темурьянц, О. Б. Московчук и др. *Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ*. Симферополь, Украина: ЧП "Эльиньо", 2003.
- [4] Н. Ф. Терещенко, С. Н. Матвиенко, "Математическая модель взаимодействия источника излучения КВЧ-диапазона с биологическими средами", на VII Міжнародній науково-технічній конференції *Актуальні питання біологічної фізики та хімії*. БФФХ – 2011. Севастополь, 2011, с. 130-132.
- [5] О. П. Яненко, С. М. Перегудов, "Вимірювання низькоінтенсивних сигналів біологічних об'єктів у мм-діапазоні", на МНПК *Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта)*, Київ, 2012, с. 112-113.
- [6] О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н. Н. Лебедева, *Миллиметровые волны и живые системы*. Москва, Россия: Сайенс-Пресс, 2004.
- [7] М. Н. Матяш, Н. В. Чухраєв, Г. Е. Шимков, *КВЧ-пунктура (низкоинтенсивная стимуляция точек акупунктуры электромагнитным излучением миллиметрового диапазона)*. Вып. 1.3. Київ, Україна: ВПЦ "Київський університет", 2001.
- [8] О. П. Яненко, С. М. Перегудов, І. В. Федотова, О. Д. Головчанська, "Апаратура та технології низькоінтенсивної міліметрової терапії", *Вісник*

- НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування, Вип. 59, с. 103-110, 2014.
- [9] О. П. Яненко, В. П. Куценко, С. М. Перегудов, *Електронна апаратура лікувально-діагностичних технологій: навчальний посібник*. Донецьк, Україна: ІПШ «Наука і освіта», 2011.
- [10] С. П. Ситько, Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, *Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины*. Киев, Украина: ФАДА ЛТД, 1999.

- [11] І. С. Істоміна, "Крайне высокочастотная терапия в клинической практике (часть 1)", *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 2, с. 47-52, 2012.
- [12] О. В. Бецкий, Н. Н. Лебедева, "Биологические эффекты миллиметровых волн низкой интенсивности", на *Microwave & Telecommunication Technology*, Севастополь, 2002, с. 67-71.
- [13] N. V. Chukhraiev, and oth., *Application of ultrasonic waves, magnetic fields and optical flow in rehabilitation*. Kyiv, Ukraine: RADOM, 2017.

УДК 615.849.11

**Д. В. Плакса, Н. Ф. Терещенко, С. Н. Матвиенко***Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина***МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ**

Проведено исследование влияния электромагнитного крайне высокочастотного (КВЧ) излучения миллиметрового диапазона на биологические ткани и оценено его тепловое воздействие. Выполнена оценка интенсивности КВЧ-излучения аппарата «Порог-3» во всех режимах работы. Установлены различия влияния излучения в зависимости от вида биологической ткани и параметров окружающей среды. Проведен ряд экспериментов по оценке влияния КВЧ - излучения с учетом возрастных изменений кожного покрова и полового распределения с изменениями температуры ткани в зависимости от продолжительности процедуры. Исследование проведено в пяти целевых группах, разделенных по возрасту, полу и характеру биологической ткани. Определена зависимость изменения температуры биологического объекта от времени экспозиции. В рамках исследования осуществлено математическое моделирование изменений интенсивности в зависимости от частоты, изменения температуры биологической ткани в зависимости от интенсивности, определен характер процессов воздействия КВЧ-терапии. Предлагается и обосновывается математический аппарат, позволяющий оптимизировать процесс терапии, путем корректировки ее параметров с учетом влияния окружающей среды и типа биологической ткани, что позволяет сделать лечение более эффективным, безопасным и ориентированным на индивидуальную чувствительность пациента к воздействию КВЧ-излучения. Разработана методика подбора оптимальных параметров КВЧ - терапии. Получены формулы определения дозы и интенсивности излучения с учетом температурных градиентов среды. Установлены и проанализированы погрешности значений дозы и интенсивности излучения.

**Ключевые слова :** КВЧ-терапия, параметры излучения, тепловое воздействие.**D. V. Plaksa, N. F. Tereshchenko, S. N. Matvienko***National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***MODELING AND ASSESSMENT OF THE EFFECT OF EXTREMELY HIGH-FREQUENCY RADIATION ON BIOLOGICAL TISSUES**

The influence of electromagnetic extremely high-frequency (EHF) millimeter-wave radiation on biological tissues was explored and its thermal effects were evaluated. An assessment of the EHF-radiation intensity of the Porog-3 apparatus in all operating modes has been performed. The differences in the influence of radiation depending on the type of biological tissue and environmental parameters are established. Several series of experiments have been conducted to assess the effect of EHF radiation taking into account age-related changes in the skin and sex distribution with changes in tissue temperature depending on the duration of the procedure. The exploration was conducted in five target groups, separated by age, sex and nature of biological tissue. The dependence of the temperature change of a biological object on the exposure time is determined. As part of the research, mathematical modeling of intensity changes depending on the frequency, temperature changes of biological tissue depending on the intensity was carried out, the nature of the processes of exposure to EHF-therapy was determined. A mathematical apparatus is proposed and justified, which allows to optimize the process of therapy by adjusting its parameters taking into account the influence of the environment and the type of biological tissue, which makes the treatment more effective, safe and focused on the patient's individual sensitivity to EHF radiation. A method for selecting the optimal parameters of EHF-therapy has been developed. Formulas are obtained for determining the dose and intensity of radiation, taking into account temperature gradients of the medium. The errors of dose and intensity of radiation were determined and analyzed.

**Key words:** microwave therapy, parameters of radiation, thermal influence.*Надійшла до редакції 05 листопада 2018 року**Рецензовано 16 листопада 2018 року*