

2. Воронов С. О. Вплив внутрішніх і зовнішніх факторів на процеси відновлення кисню та метрологічні характеристики сенсору / С. О. Воронов, П. О. Голець // Матеріали III міжнародної конференції «Біомедична інженерія і технологія»: зб. матеріалів. – К.: НТУУ "КПІ". – 2012. – С. 46.
3. Воронов С.О. Сенсор для вимірювання парціального тиску кисню в підшкірних тканинах / С. О. Воронов, В. Й. Котовський, П. О. Голець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2011. – Вип. 41. – С. 125 - 130.

*Надійшла до редакції
6 квітня 2012 року*

© Воронов С. О., Ройтман Е. М., Голець П. О., Довженко О. П., Котовський В. Й., 2012

УДК 57.085: 621.317.4

БЕЗКОНТАКТНИЙ ТЕМПЕРАТУРНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ВПЛИВУ ПОЛЯ ПРИ МАГНІТОТЕРАПІЇ

Терещенко М. Ф., Рудик В. Ю., Терещенко С. М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

Запропоновано безконтактний температурний метод контролю впливу магнітного поля на біологічний об'єкт, який полягає в дистанційній реєстрації, візуалізації та аналізі теплових полів біологічних об'єктів в зоні дії індукторів на основі їх інфрачервоного випромінювання, та спосіб контролю впливу на організм магнітним полем, оснований на вимірюванні температури до, під час та по закінченню терапевтичної процедури. Проведене математичне моделювання впливу магнітного поля на зміну температури поверхневих шарів епідермісу та експериментальне дослідження зміни температури на індукторах магнітотерапевтичних апаратів «МАГ-30-4», «МИТ-11» та «ПОЛЮС-4» при їх контакті та без контакту з біологічним об'єктом.

Ключові слова: *магнітне поле, температурний контроль, магнітотерапія.*

Вступ

Низькочастотна магнітотерапія – ефективний метод фізіотерапії, що вирішує важливі практичні завдання по відновленню, реабілітації та лікуванню ряду соматичних захворювань організму людини. Аналіз існуючих методів магнітотерапії показує, що більшість з них побудовано на основі однонаправленого управління. Такий терапевтичний вплив не враховує при формуванні параметрів магнітного поля (МП) індивідуальні фізіологічні параметри пацієнта, біотропні параметри МП, а також механізм впливу МП на біологічну тканину (БТ). Наслідком цього є зниження лікувального ефекту дії МП. Тому на сучасному етапі розвитку медичної техніки актуальним стає створення нового покоління фізіотерапевтичних апаратів – магнітотерапевтичних апаратів (МТА) зі зворотним зв'язком. Зворотний зв'язок у вигляді сукупності сигналів, що поступають від пацієнта, дає можливість встановлювати параметри в режимі терапії перед початком лікувального сеансу та змінювати їх в процесі сеансу для досягнення максимального терапевтичного ефекту.

Постановка задачі

Перспективним напрямком розвитку МТА є контроль за значенням температури в робочій зоні індуктора при прямому контакті індуктора з БТ під час проведення фізіотерапевтичної процедури. Теоретичне та експериментальне дослідження температурного поля дозволяє оцінити підвищення температури при різних режимах впливу МП, тим самим визначити пряму залежність «режим і параметри впливу – температурний оклик». Інтерес представляє реалізація системи керування параметрами МП під час процедури з контролем ефективності впливу внаслідок зворотного зв'язку, що дозволяє контролювати та автоматично обирати режим МП, необхідного для досягнення ефективної дії поля вимірюванням заданого значення температури. Температура БТ є комплексним інтегральним параметром стану органу людини та і всього організму в цілому. Перспективним методом контролю поля при магнітотерапії є контроль за станом та показниками температури до і в процесі дії МП, та по закінченню процедури. Існує низка робіт, присвячених моделюванню теплового поля БТ [1 - 3], але, на жаль, не має адекватної математичної моделі, що пояснює ефект дії МП на зміну температури БТ. Актуальною задачею є розробка математичної моделі моделювання впливу МП на біологічний об'єкт (БО) з контролем змін температури поверхневих шарів епідермісу.

Безконтактний температурний метод контролю магнітотерапевтичної апаратури

Для підвищення ефективності використання та вибору оптимальних режимів роботи МТА нами запропонований [4] безконтактний температурний метод контролю впливу сигналу МП на БТ, який полягає в дистанційній реєстрації, візуалізації та аналізі теплових полів БО та індукторів на основі їх інфрачервоного випромінювання. Індуктор МТА генерує МП, що діє на БТ, яка нагрівається, випромінює теплову енергію, параметри якої реєструють в інфрачервоному діапазоні – тепловізором. Перевагами безконтактного температурного метода контролю є дослідження впливу параметрів МП на БТ з реєстрацією параметрів теплового поля БО в зоні терапевтичної дії під час процедури, висока швидкість реєстрації змінених станів.

Моделювання впливу магнітного поля на зміну температури поверхневих шарів епідермісу

Магнітна індукція індуктора МТА розраховується за формулою:

$$B(t) = k_B I(t),$$

де k_B – коефіцієнт індуктора по магнітній індукції, $I(t)$ – діапазон зміни сили струму.

Зворотний зв'язок, що виникає при цьому через МП, є позитивним. Залежність амплітуди магнітної індукції поля $B(t)$ від часу та частоти визначає межу теплових ефектів на площині амплітуда – частота і характеризується коефіцієнтом K_f .

При дослідженні впливу параметрів МП на БО емпірично була отримана формула для розрахунку температури $T(^{\circ}\text{C})$ в зоні дії МП. Теоретичні та експериментальні дослідження показують, що температура в зоні дії МП прямо пропорційна магнітній індукції $B(t)$ і часу дії t та зворотно пропорційна імпедансу БО Z , теплоємності одиниці об'єму c_Q , провідності середовища σ , площі зони локальної дії S :

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{K_m K_{\text{БТ}} K_f B(t) t}{Z c_Q \sigma S}, \quad (1)$$

де K_m – коефіцієнт перетворення сигналу, $K_{\text{БТ}}$ – коефіцієнт БТ, K_f – коефіцієнт залежності від частоти.

Формула (1) дозволяє провести оцінку впливу та дії МП на температуру та теплоту БТ.

Приймаємо наступні значення параметрів БТ та розмірів зразка: $\sigma \sim 0,125 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$ [5], $c_Q \sim 3352 \text{ (Дж}\cdot\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{с}^{-1})$ [6], $r \sim 0,23 \text{ см}$, при частоті 1 кГц: питомий імпеданс тканин епідермісу $Z_y = 286 \pm 8 \text{ [Ом}\cdot\text{см}]$ [7].

Імпеданс БО розраховується за формулою [7]

$$Z = \frac{Z_y l}{S} = 2486 \text{ [Ом]},$$

де l – довжина ділянки контуру.

В табл. 1 представлені результати розрахунку зміни температури ΔT (T_5 , T_{10} , T_{12} , T_{15} , T_{18} , T_{20}) за формулою (1) при різних режимах роботи МТА (5, 10, 12, 15, 18, 20 мТл) .

На рис. 1 та рис. 2 представлені результати теоретичних розрахунків теплового поля. Як бачимо з рис. 1, температура БТ змінюється за законом, близьким до експоненціального, та збільшується від $0,017^{\circ}\text{C}$ при $B=1 \text{ мТл}$ до $5,61^{\circ}\text{C}$ при $B=18 \text{ мТл}$ (дані взяті з таблиці 1 при $t = 300 \text{ с}$).

Експериментальні дослідження зміни температури

Проведене експериментальне дослідження впливу МП з індукторів МТА «МАГ 30-4» та «МИТ-11» при контакті з БТ та зміни температури в зоні впливу за допомогою багатофункціональної прецизійної тепловізорної камери «MobiR M3» залежно від параметрів індукції та часу.

Інфрачервона камера «MobiR M3» (рис. 3) характеризується ручним керуванням, відмінною якістю зображень, прецизійним повноекранним виміром температури, ефективною обробкою зображень.

Перевагами даної інфрачервоної камери є точне радіометричне температурне випромінювання, сучасна вбудована обробка термозображень, інтегрована сигналізація, професійне програмне забезпечення. На основі даних температурних інформаційних таблиць побудовані графіки залежності зміни температури при контакті індуктора з БО та без контакту з БО.

Таблиця 1. Теоретичне дослідження теплового поля

Час t, c	Температура $T, ^\circ C$					
	T_5	T_{10}	T_{12}	T_{15}	T_{18}	T_{20}
5	0,0072	0,0288	0,0416	0,065	0,0936	0,1155
10	0,0144	0,0577	0,083	0,13	0,1872	0,231
30	0,0433	0,173	0,249	0,3901	0,561	0,6935
60	0,0866	0,3467	0,499	0,78	1,123	1,3871
90	0,13	0,5201	0,749	1,17	1,685	2,0806
120	0,1733	0,6935	0,998	1,56	2,247	2,774
180	0,26	1,04	1,498	2,34	3,37	4,161
240	0,346	1,387	1,997	3,12	4,4942	5,548
270	0,3901	1,5604	2,247	3,51	5,055	6,2419
300	0,4334	1,7338	2,4967	3,901	5,6177	6,935

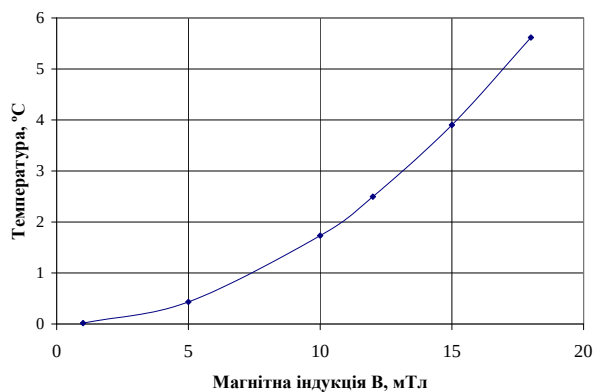


Рис. 1. Залежність температури від магнітної індукції

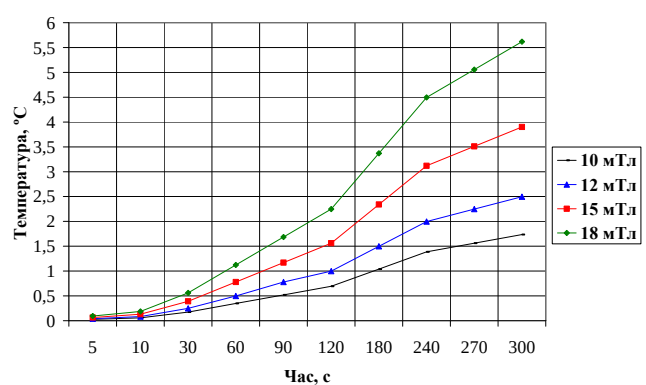


Рис. 2. Залежність зміни температури від часу при різних режимах роботи магнітотерапевтичного апарату

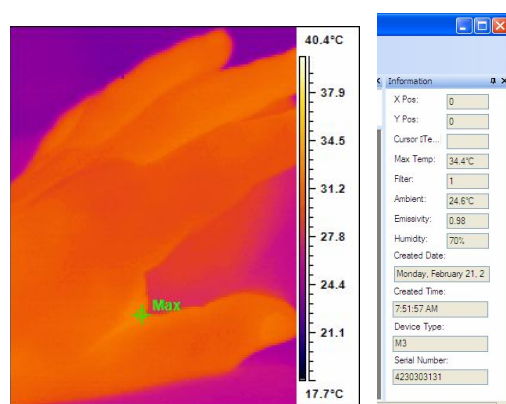


Рис. 3. Інфрачервона камера «MobiR M3», термограма індуктора та температурна інформаційна таблиця при контакті з біологічним об'єктом

Проведені дослідження зміни температури при контакті індуктора з БТ та без контакту для апаратів «МАГ-30-4» (рис. 4), «МИТ-11» (рис. 5), «ПОЛЮС-4» (рис. 6).

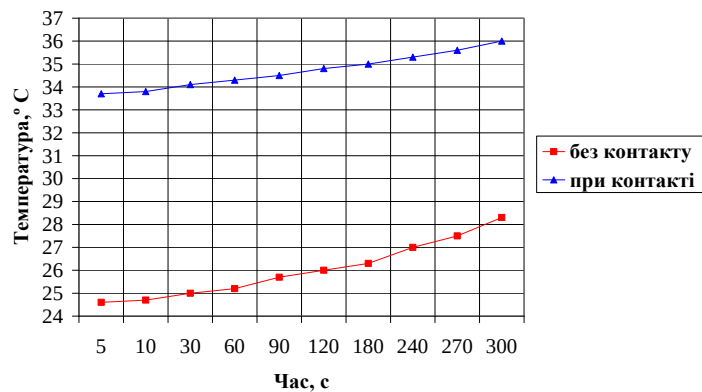
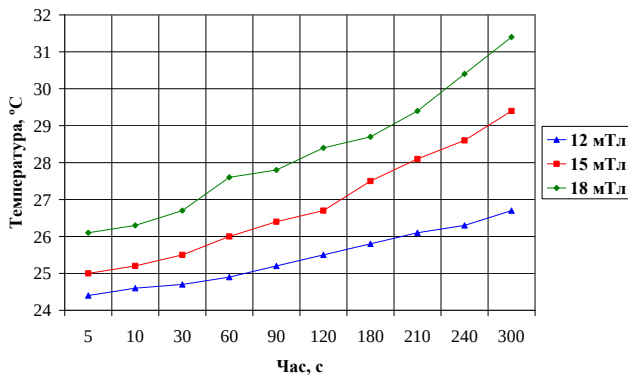
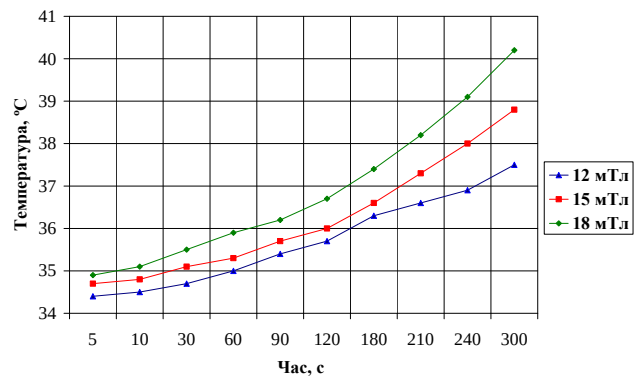


Рис. 4. Експериментальні дослідження зміни температури біологічного об'єкта з магнітотерапевтичним апаратом «МАГ-30-4» без контакту та при контакті з біологічним об'єктом

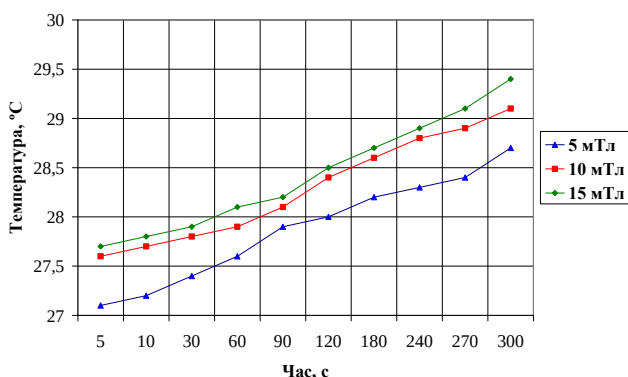


а)

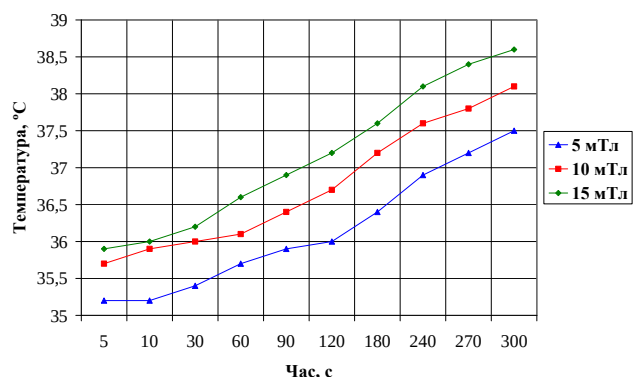


б)

Рис. 5. Експериментальні дослідження зміни температури біологічного об'єкта з магнітотерапевтичним апаратом «МИТ-11» без контакту (а) та при контакті (б) з біологічним об'єктом



а)



б)

Рис. 6. Експериментальні дослідження зміни температури біологічного об'єкта з магнітотерапевтичним апаратом «ПОЛЮС-4» без контакту (а) та при контакті (б) з біологічним об'єктом

В табл. 2 представлені діапазони зміни температури на індукторах МТА «МАГ-30-4», «МИТ-11», «ПОЛЮС-4» при контакті та без контакту з БО при різних режимах роботи апаратів (дані взяті, відповідно, з рис. 4, 5, 6).

Таблиця 2. Дослідження температури на індукторах магнітотерапевтичних апаратів при контакті та без контакту з біологічним об'єктом

Магнітна індукція <i>B</i> , мТл	Режим впливу	Температура на індукторі магнітотерапевтичних апаратів, °С		
		«МАГ-30-4»	«МИТ-11»	«ПОЛЮС-4»
5	без контакту			27,1 – 28,7
	при контакті			35,2 – 37,5
10	без контакту			27,6 – 29,1
	при контакті			35,7 – 38,1
12	без контакту		24,4 – 26,6	
	при контакті		34,4 – 37,5	
15	без контакту		25 – 29,4	27,7 – 29,4
	при контакті		34,7 – 38,8	35,9 – 38,6
18	без контакту		26,1 – 31,4	
	при контакті		34,9 – 40,2	
30	без контакту	24,6 – 28,3		
	при контакті	33,7 – 36		

Результати експериментальних досліджень зміни температури БТ на поверхнях індукторів МТА «МАГ-30-4», «МИТ-11» та «ПОЛЮС-4» на основі моделювання динамічного діапазону даних апаратів за допомогою багатofункціональної прецизійної інфрачервоної камери «MobiR M3» показують адекватну закономірність підвищення температури індуктора при збільшенні часу та при збільшенні значення магнітної індукції на апараті. Отримані результати свідчать, що безконтактний температурний метод контролю забезпечує більш точний контроль лікувального впливу МП необхідної форми на БТ з урахуванням температури індуктора МТА, дозволяє провести моделювання часу процедур магнітотерапії, обрати оптимальні режими роботи апаратів, компенсувати їх температурну похибку.

В табл. 3 представлені дані зміни температури БТ, які отримані експериментальними дослідженнями на апараті «МИТ-11» за допомогою інфрачервоної камери ($\Delta T_{\text{експ}}$) та дані моделювання впливу МП на БТ за допомогою розрахункової формули (1) ($\Delta T_{\text{мод}}$) протягом 300 с.

Таким чином запропонований і розглянутий безконтактний температурний метод контролю індукторів МТА може використовуватися для діагностики при лікувальній дії – профілактичному застосуванні магнітотерапії, що покращує вплив і дію низькочастотних магнітних та електромагнітних полів на БТ.

Таблиця 3. Теоретичні та експериментальні дослідження зміни температури

Магнітна індукція B , мТл		Температура розрахунку $\Delta T_{\text{мод}}$, °C	Фактична температура $\Delta T_{\text{експ}}$, °C	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %
На індика- торі	Фактично				
12	11,5	2,4967	3,1	0,6033	19,4
15	14,5	3,901	4,1	0,199	4,8
18	17,5	5,6177	5,3	0,224	5,6

Висновки

Запропонований спосіб впливу на організм МП з забезпеченням контролю за ходом протікання процесу дії МП на БТ, що виключає негативні наслідки терапевтичної процедури, формує нормовану, точно дозовану дію МП на БТ.

Отримані математичні залежності магнітної індукції індуктора МТА та впливу МП на температуру поверхневих шарів епідермісу.

У подальших дослідженнях буде спроектований апарат магнітотерапії з температурним контролем та розроблена математична модель впливу МП зовнішнього джерела на БТ.

Література

1. Binhi V.N. Magnetobiology: Underlying Physical Problems. – Academic Press, San Diego, 2002. – 473 p.
2. Новак Питер. Электромагнитные поля в биологии и медицине. Механизмы взаимодействия. Экспериментальные исследования. Теоретические модели. Аппаратура и приборы: монография / П. Новак. – Дніпропетровськ: Пороги, 2004. – 389 с.
3. Тиманюк В. А. Живой организм и электромагнитные поля: монография / В. А. Тиманюк, Э. А. Ромоданова, Е. Н. Животова; Нац. фармац. ун-т. – Харків: НФаУ: Золотые страницы, 2004. – 259 с.
4. Рудик В. Ю. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури / В. Ю. Рудик, М. Ф. Терещенко // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування 2012: стан і перспективи», 24 - 25 квітня 2012 р. – Київ: Зб. тез доп. – К.: НТУУ «КПІ» ПБФ, 2012. – С. 193 - 194.
5. Кузнецов А.Н. Биофизика электромагнитных явлений. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 255 с.
6. Пономаренко Г. Н. Биофизические основы физиотерапии / Г. Н. Пономаренко, И. И. Турковский: Учебное пособие. – М.: ОАО Издательство «Медицина», 2006. – 176 с.
7. Березовский В. А. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник / В. А. Березовский, Н. Н. Колотилова. – К.: Наукова думка, 1990. – 224 с.

*Надійшла до редакції
20 травня 2012 року*

© Терещенко М. Ф., Рудик В. Ю., Терещенко С. М., 2012