

УДК 615.47

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

БІОКЕРОВАНА СИСТЕМА МАГНІТОФОНОТЕРАПІЇ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

At the present stage of development of medical instrument-making working out magnetotherapy apparatus with feedback automatically correcting parameters of medical influence according to physiological parameters of patients during a magnetotherapy session obtains an actual value. The purpose of this study was to research an influence of a magnetic field on change of physiological indicators of the man for working out magnetophonotherapy system with control algorithm of parameters of magnetic field influence and ultrasound on a biological tissue. Modern clinical researches of man's change of physiological indicators were analyzed. The experimental researches of pulse change, degree of oxygenating of hemoglobin (saturation), arterial pressure, temperature were performed before, during and after completion of a session of a magnetotherapy of the overhead extremities. Adaptive possibilities of formation of adequate influences of magnetophonotherapy system on the basis of the analysis of controllable physiological indicators of the patient and regulation of magnetic field parameters are considered. The construction principles of automated multipurpose magnetophonotherapy apparatus with algorithm of control of influence of a magnetic field and ultrasound on a biological tissue were offered.

Keywords: magnetic field, magnetotherapy, the magnetophonotherapy apparatus.

Вступ

Найбільш важливим у терапевтичній дії низькочастотного магнітного поля (МП) є позитивний вплив на проникність клітинних мембран для деяких іонів, покращення реологічних властивостей та оптимізацію згортання крові, мікроциркуляцію та метаболізм судинної стінки [1].

Для підвищення ефективності використання магнітотерапевтичних методів необхідний контроль за реакцією організму на вплив МП. Як узагальнені критерії ефективності дії на організм МП можуть бути використані загальні терапевтичні показники, такі як артеріальний тиск (АТ), пульс, температура, насичення гемоглобіну киснем (сатурація), параметри електрокардіограми, електроенцефалограми, реограми, реакції біологічно активних точок [2, 3].

Тенденцією розвитку сучасних магнітотерапевтичних апаратів (МТА) та магнітотерапевтичних комплексів, що призначені для загального впливу МП на весь організм людини, є здійснення принципу зворотних зв'язків [2–4]. При цьому відповідно до змін фізіологічних показників пацієнта параметри МП, що впливає на біологічну тканину (БТ), повинні автоматично змінюватися таким чином, щоб оптимізувати лікувальний ефект процедури відповідно до стану та особливостей конкретної людини.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження впливу параметрів МП на зміну фізіологічних показни-

ків людини для розробки принципів побудови апаратів магнітофототерапії зі зворотним зв'язком з алгоритмом контролю ефективності впливу МП та ультразвуку (УЗ) на БТ.

Аналіз клінічних досліджень зміни фізіологічних показників людини при магнітотерапії

Аналіз сучасних клінічних досліджень зміни фізіологічних показників (температури, пульсу, сатурації, АТ) організму людини при магнітотерапії [5–12] показує, що під впливом слабого МП (магнітна індукція 0,5–50 мТл) нормалізується рівень підвищеного АТ, призупиняється гемодинамічна основа прогресування початкових стадій артеріальної гіпертензії, підвищується температура БТ (температура БТ є важливим параметром оцінювання впливу та ефективності дії МП на організм людини, оскільки будь-який патологічний процес призводить до виникнення температурної реакції).

Дослідження Г.Г. Кобеца реакції організму на дію МП показують, що при магнітотерапії апаратом “Полюс-1” (магнітна індукція 35 мТл) протягом 5 хв температура БТ збільшується на 1,3 °С, АТ у 90 % обстежуваних людей зменшується на 11 ± 5 мм рт. ст., спостерігалася тенденція до зменшення пульсу [5].

За результатами клінічних досліджень фізіологічних показників організму пацієнтів при магнітотерапії апаратом “Полюс-101” (магнітна індукція 1,5–2 мТл) Д.К. Милославського, температура БТ збільшується на 1,4 °С, систолічний артеріальний тиск (САТ) знижується

на 15–18 %, діастолічний артеріальний тиск (ДАТ) – на 11–15 %, пульс – на 2–3 % [6]. На основі проведених досліджень встановлено, що курс магнітотерапії повинен складатися з 12–15 процедур тривалістю 20–25 хв. Магнітна індукція та схема лікування підбираються індивідуально з контролем АТ, параметрів гемодинаміки та вегетативного стану хворих.

Є.І. Золотухіною та В.С. Улащиком проведено наукове обґрунтування й аналіз лікування хворих на артеріальну гіпертензію за допомогою методів магнітотерапії. Автори відзначили переваги застосування МП у хворих на артеріальну гіпертензію над іншими методами. Особлива увага, на думку авторів, має бути приділена МП з різними біотропними параметрами, а також вивченню комбінованих методик і засобів магнітотерапії [7].

Результати лікування гіпертонічної хвороби С.Г. Абрамовичем у хворих похилого віку магнітотерапією за допомогою апарата “Магнітор-ИНТ” з частотою обертання МП 100 Гц, магнітною індукцією 7,4 мТл і часом процедури 12 хв показують зниження після 10 процедур САТ на 16,7 % і середнього АТ на 15,2 % [8]. Після лікування загальною магнітотерапією хворі на артеріальну гіпертензію значно рідше скаржилися на головний біль, серцебиття, дратівливість і втомлюваність.

Т.В. Лук'янова проводила лікування хворих на артеріальну гіпертензію за допомогою апарата МУМ-50 “Эдма” [9]. Використовувалось комбінування низькочастотного (50 Гц) змінного МП синусоїдальної форми та постійного МП із сумарною магнітною індукцією 30 ± 10 мТл за допомогою контактної методики (індуктори розмішували контактено на область лоба). Під впливом курсового лікування (10–12 процедур тривалістю 15 хв) зниження АТ відбувалось поступово, в середньому до 4–5-ї процедури, з практично повною нормалізацією його наприкінці лікування: САТ знижувався від $162,3 \pm 4,2$ до $133,1 \pm 2,03$ мм рт. ст., а ДАТ – від $99,6 \pm 3,35$ до $85,3 \pm 2,2$ мм рт. ст. Виражений і сталий гіпотензивний ефект спостерігався при початковому гіперкінетичному варіанті кровообігу, коли пульс зменшувався від $83,2 \pm 2,9$ до $68,1 \pm 2,3$ уд./хв.

У праці [10] розглянуто клінічні особливості використання низькоінтенсивної магнітотерапії в комплексному лікуванні хворих на артеріальну гіпертензію. При проведенні сеансу магнітотерапії використовувався розроблений В.С. Улащиком апарат “Уни-СПОК”, що за-

безпечував загальний вплив на організм складного імпульсного МП з частотою модуляції від 5 до 50 Гц та максимальною індукцією МП $3,1 \pm 1,2$ мТл. Курс лікування становив 8–12 процедур. Час процедури на початку курсу лікування становив 8–10 хв, поступово збільшуючись до кінця курсу до 20–30 хв. Індукцію МП підбирали індивідуально (чим вищі показники АТ, тим вища індукція МП). При рівні АТ до 139/89 мм рт. ст. індукція МП становила 1,8–2,0 мТл, при АТ від 139/89 до 159/99 мм рт. ст. – від 2,1 до 2,7 мТл. При показниках АТ 160/100 мм рт. ст. і вище індукція МП становила 3,0–3,1 мТл. Курс загальної магнітотерапії сприяв достовірному САТ від $158 \pm 1,92$ до $138,2 \pm 1,78$ мм рт. ст.

Для досягнення максимального терапевтичного ефекту важливо результати досліджень і досвід клінічного лікування магнітотерапією використати для розроблення нових типів апаратів магнітотерапії, що коректують параметри магнітного впливу відповідно до фізіологічних параметрів пацієнта – МТА зі зворотним зв'язком. У праці В.С. Улащика [4] введено термін “біокерована магнітотерапія” (за принципом зворотного зв'язку). Для створення біокерованих апаратів магнітотерапії необхідно визначити індивідуальну магніточутливість організму людини й окремих тканин, органів і систем, електричні властивості БТ і провести моделювання параметрів імпульсів МП з урахуванням селективності дії МП і біологічних ритмів організму людини [4].

Для визначення фізіологічних параметрів (температура, пульс, сатурація, АТ) організму людини нами проведено експериментальні дослідження зміни температури за допомогою інфрачервоної камери “MobiR M3”, пульсу, сатурації артеріальної крові за допомогою пульсоксиметра “ЮТАСОКСИ-200”, АТ за допомогою вимірювача АТ “Microlife BP A 80” до, під час та по закінченні сеансу магнітотерапії верхніх кінцівок. Параметри впливу поля в сеансі магнітотерапії формувалися за контактеною стабільною методикою.

Результати експериментальних досліджень впливу магнітного поля на фізіологічні параметри

В експериментальну установку для дослідження впливу МП на БТ входили МТА “МАГ-30-4”, “ПОЛЮС-4” та “МИТ-11”, інфрачервона камера “MobiR M3”, вимірювач АТ

“Microlife BP A 80”, універсальний тесламетр “43205” і пульсоксиметр “ЮТАСОКСИ-200”. Пульсоксиметр “ЮТАСОКСИ-200” призначений для чре­зшкірного неінвазивного моніторингу ступеня насичення гемоглобіном артеріальної крові киснем і частоти пульсу. В основі принципу роботи приладу лежить пульсоксиметричний метод неінвазивного визначення оксигенації гемоглобіну артеріальної крові, що об’єднує підходи спектрофотометричного методу і фотоплетизмографії та базується на вимірюванні й математичному аналізі спектральної і фотоплетизмографічної інформації. За допомогою пульсоксиметричного сенсора, який встановлюється на частину тіла (палець), де передбачається хороша пульсова хвиля (таким чином, щоб джерело світла опинилося напроти фотоприймача (випромінювання має попадати на приймач, проходячи БТ)), проведено вимірювання пульсу та сатурації БТ при дії МП апаратів “ПОЛЮС-4” (режими роботи 5, 10, 15 мТл), “МИТ-11” (режими роботи 6, 12, 15, 18 мТл), “МАГ-30-4” (20 мТл) протягом 10 хв.

Експериментальні дослідження сатурації та пульсу протягом часу T наведено в таблиці (індекси відповідають режиму роботи апарата магнітотерапії). Для режиму роботи 15 мТл у дужках вказано значення сатурації та пульсу на поверхні тканин пальця при контакті індуктора апарата “ПОЛЮС-4” з БТ.

Отримані результати лабораторних досліджень відповідають тенденціям клінічних досліджень зміни пульсу та сатурації при магнітотерапії, розглянутих у працях [5–8, 11].

Проведені нами дослідження зміни АТ у БТ за допомогою вимірювача АТ “Microlife BP A 80” показують (рис. 1), що САТ і ДАТ зменшуються від 135/93 мм. рт. ст. перед сеансом магнітотерапії до 128/88 мм. рт. ст. при магнітотерапії апаратом “МАГ-30-4” (20 мТл) БТ (руки) протягом 10 хв. Через 1 год значення АТ зменшується до САТ = 127 мм. рт. ст., ДАТ = 87 мм рт. ст. Через 2 год значення АТ повертається до рівня, який був до процедури.

Результати експериментів узгоджуються з клінічними дослідженнями зміни АТ при магнітотерапії, розглянутими в праці [9]. Для досягнення стійкого гіпотензивного ефекту дії МП на БТ необхідно 4-5 процедур магнітотерапії [6, 9].

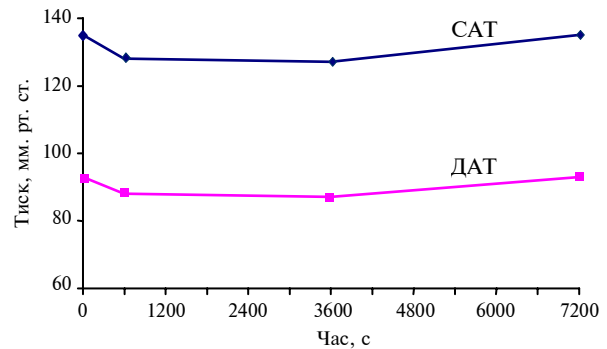


Рис. 1. Значення артеріального тиску до та після проведення процедури магнітотерапії

Оцінка впливу магнітного поля на зміну температури біологічної тканини

На основі запропонованого в праці [13] безконтактного температурного методу контролю впливу МП на БТ було досліджено зміну температури БТ (пальці та долоні рук) за допомогою інфрачервоної камери “MobiR M3” під час процедури магнітотерапії. Експериментальні дослідження зміни температури БТ під впливом МП проводились у лабораторних умовах, близьких до клінічних. Дослідження впливу МП та зміни температури БТ під час сеансу магнітотерапії проводились на відстані ~ 20 см від інфрачервоної камери до руки, під кутом 90°, у провітрюваному приміщенні з температурою навколишнього середовища $T \leq 24^\circ\text{C}$, з перервами для охолодження індукторів МТА та БТ з урахуванням методичних рекомендацій до проведення сеансу магнітотерапії та вимірювання температури [14, 15]. Тому отримані результати зміни температури БТ під час сеансу магнітотерапії відрізняються від експериментальних даних у праці [13]: зменшується швид-

Таблиця. Експериментальні дослідження сатурації (С, %) та пульсу (П, уд./хв) тканин пальця за різних режимів роботи апарата магнітотерапії

T, c	C_5	C_6	C_{10}	C_{12}	C_{15}	C_{18}	C_{20}	P_5	P_6	P_{10}	P_{12}	P_{15}	P_{18}	P_{20}
0	98	94	95	95	95 (97)	96	96	75	77	72	76	73 (72)	63	77
300	97	95	98	98	96 (99)	98	97	73	74	70	74	71 (70)	67	76
600	99	97	96	97	98 (98)	96	96	69	72	69	69	69 (63)	61	74

кість зростання температури БТ при впливі МП, підвищується час досягнення критично допустимого рівня температури БТ при магнітотерапії, що відповідає методичним вказівкам з проведення фізіотерапевтичних процедур [14]. Оброблені за допомогою програми Launch Guide IrAnalyser результати лабораторних досліджень для апаратів "МИТ-11", "ПОЛЮС-4", "МАГ-30-4" наведені на рис. 2.

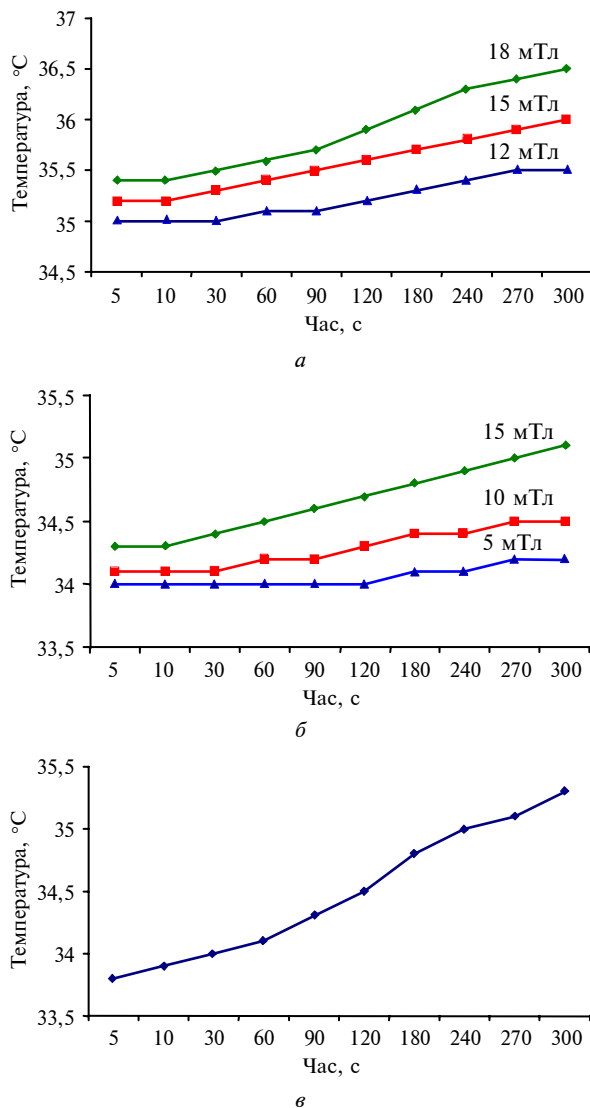


Рис. 2. Залежність зміни температури від часу при контакті індуктора з БТ для магнітотерапевтичних апаратів "МИТ-11" (а), "ПОЛЮС-4" (б) і "МАГ-30-4" (в)

Результати лабораторних досліджень зміни температури БТ при проведенні процедури магнітотерапії протягом 5 хв показують, що температура БТ підвищується при магнітотерапії апаратом "ПОЛЮС-4" на 0,2; 0,4 і 0,8 °С (режими роботи відповідно 5, 10, 15 мТл), апаратом

"МИТ-11" на 0,5; 0,8 і 1,1 °С (режими роботи відповідно 12, 15, 18 мТл), апаратом "МАГ-30-4" на 1,5 °С (20 мТл), що відповідає клінічним дослідженням зміни температури БТ при магнітотерапії, розглянутим у працях [5, 6, 12].

Проведемо математичне моделювання впливу МП на зміну температури поверхневих шарів БТ (епідермісу). В [13, 16] нами отримані розрахункові формули для температури БТ у зоні дії МП.

Швидкість зростання температури епідермісу розраховується за прогнозною формулою [13]

$$T'_t = k \frac{8\pi^3 \cdot B^2 \cdot f^3 \cdot \sigma}{C_q}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності (функція форми діючого поля), B – магнітна індукція, f – частота, σ – провідність БТ, C_q – теплоємність одиниці об'єму БТ.

У [16] отримана узагальнена формула для розрахунку зміни температури БТ з часом при впливі змінного МП:

$$\Delta T = k \cdot \frac{8\pi^3 \cdot B^2 \cdot f^3 \cdot \sigma}{k_1 C_q} (1 - e^{-k_1 t}), \quad (2)$$

де k_1 – коефіцієнт охолодження, t – час дії МП.

Наведемо емпіричну формулу [13] для розрахунку температури БТ при дії МП:

$$T = \frac{K_B \cdot K_{BT} \cdot K_f \cdot B(t) \cdot t}{Z \cdot C_q \cdot \sigma \cdot S}, \quad (3)$$

де $K_{BT} = \frac{Z}{Z_0}$ – коефіцієнт, який залежить від типу БТ, $K_B = B$ (мТл) – коефіцієнт перетворення сигналу джерела магнітної індукції, K_f – коефіцієнт залежності від частоти для конкретного типу БТ, Z_0, Z – імпеданс тканин мозку та шкіри, S – площа зони локальної дії.

Імпеданс Z (повний опір БТ) за рахунок поляризаційних властивостей БТ характеризує низку функціональних змін в організмі (стан шкіри та підшкірної тканини, кровоносних судин, ступеня насичення крові киснем тощо). Імпеданс БТ залежить від виду БТ, розміщення електродів на тілі досліджуваного, тиску на електроди, площини електродів, якості обробки піделектродних ділянок шкіри, виду електродної пасти та рідини, температури навколишнього середовища, форми, частоти й сили стру-

му та часу з моменту накладання електродів [17]. У працях [13, 16] як БТ розглядався мозок. У дійсній роботі як БТ вибрано шкіру. Імпеданс шкіри $Z = 65000$ Ом при частоті $f = 1000$ Гц [17]. Коефіцієнт для багаточарового епітелію БТ $K_{БТ} = 26,146$.

Для розрахунку зміни температури БТ при впливі МП виберемо такі значення параметрів БТ і розмірів зразка [18, 19]: $C_q = 3444$ Дж/(кг·°C), $\sigma = 0,125$ Ом·м⁻¹, радіус зони впливу $r = 0,5$ см. Коефіцієнт охолодження $k_1 = 0,0001$ (1/с), коефіцієнт пропорційності $k = f(r^2)$ [13].

Збіжність результатів розрахунку для прогнозованої (1), узагальненої (2) та емпіричної (3) формул відбувається для значень $k = \frac{r^2}{10}$ (5 мТл), $k = \frac{r^2}{20}$ (10, 12, 15, 18, 20 мТл) (відносна похибка розрахунку зміни температури БТ не перевищує 6,8 %).

Найменша відносна похибка експериментальних даних швидкості зміни температури БТ при магнітотерапії апаратом “МИТ-11” з математичним моделюванням $\delta = 1,1$ % досягається при $B = 12$ мТл за емпіричною формулою (3), а найбільша відносна похибка $\delta = 8$ % – при $B = 15$ мТл за узагальненою формулою (2). Для МТА “ПОЛЮС-4” відповідні похибки становлять $\delta = 1,2$ % при $B = 15$ мТл і $\delta = 17,7$ % при $B = 10$ мТл. Найменша відносна похибка експериментальних даних зміни температури БТ при дії апарата “МАГ-30-4” з її математичним моделюванням (3) становить $\delta = 6,2$ %.

При магнітотерапії критично допустимий рівень температури ($T = 40$ °C) [20] досягається апаратом “ПОЛЮС-4” за 150,15; 72,52 і 35,03 хв (режими роботи відповідно 5, 10, 15 мТл), апаратом “МИТ-11” за 49,17; 29,5 і 20,56 хв (режими роботи відповідно 12, 15, 18 мТл), апаратом “МАГ-30-4” за 20,34 хв (20 мТл).

У методичних рекомендаціях з проведення фізіотерапевтичних процедур час використання МП при проведенні сеансу магнітотерапії судин верхніх кінцівок становить 10–15 хв для апаратів магнітотерапії з індукторами-соленоїдами та 15–20 хв для апаратів з індукторами-електромагнітами [14]. Час досягнення критично допустимого рівня температури при магнітотерапії перевищує 20 хв, що задовольняє норми використання МП при проведенні процедури фізіотерапії.

Біокерований апарат магнітофототерапії

На сучасному етапі розвитку медичної техніки актуального значення набуває розробка МТА зі зворотнім зв'язком, які коректують параметри лікувального впливу відповідно до фізіологічних параметрів пацієнта [2–4, 10]. Для забезпечення більш ефективного контролю впливу УЗ і МП на БТ та можливості коректування параметрів впливу ультразвукового й магнітного сигналів на БТ відповідно до температури, пульсу та сатурації БТ нами запропонований апарат магнітофототерапії, який додатково містить пульсоксиметр ПС 22 (рис. 3). Магнітофототерапія – комбінований вплив МП і УЗ на БТ. Для її здійснення на ультразвуковий випромінювач (вібратор) насаджують кільцеподібний магніт, який є джерелом постійного МП (30–50 мТл). Як показують експериментальні дослідження [21], такий комбінований вплив істотно підвищує судинну та шкірну проникність, має протизапальну та протинабрякову дію, стимулює мікроциркуляцію та загоєння ран. Клінічна апробація магнітофототерапії [21] свідчить про ефективність лікування травм і захворювань суглобів, остеохондрозу хребта з неврологічними проявами.

На рис. 3 зображена функціональна схема запропонованого нами апарата магнітофототерапії.

Апарат живиться від блока живлення БЖ17. Генератор Г1 генерує електричні коливання, які поступають на перший вхід модулятора М2. Одночасно на другий вхід модулятора М2 приходить сигнал з програмованого блока керування ПБК9 через інфразвуковий генератор ІЗГ10 та буферно-підсилювальний каскад БПК11, що підсилює інфразвукове випромінювання, частота та амплітуда якого близькі до біопотенціалів органів і тканин людини. В модуляторі М2 відбувається амплітудна модуляція високочастотного сигналу низькочастотним з глибиною модуляції 80–95 %. Промодульований сигнал надходить через буферний каскад БК3 на підсилювачі попередній ПП4 та вихідний ВП6, керований резистивний подільник КП16 і формується випромінювачем ультразвукових хвиль ВУХ14 у вигляді діючих акустичних коливань. Паралельно цьому з програмованого блока керування ПБК9 поступає імпульс запуску на генератор струму ГС12, який формує сигнал заданої форми і направляє його до керованого джерела магнітної індукції КДМ13.

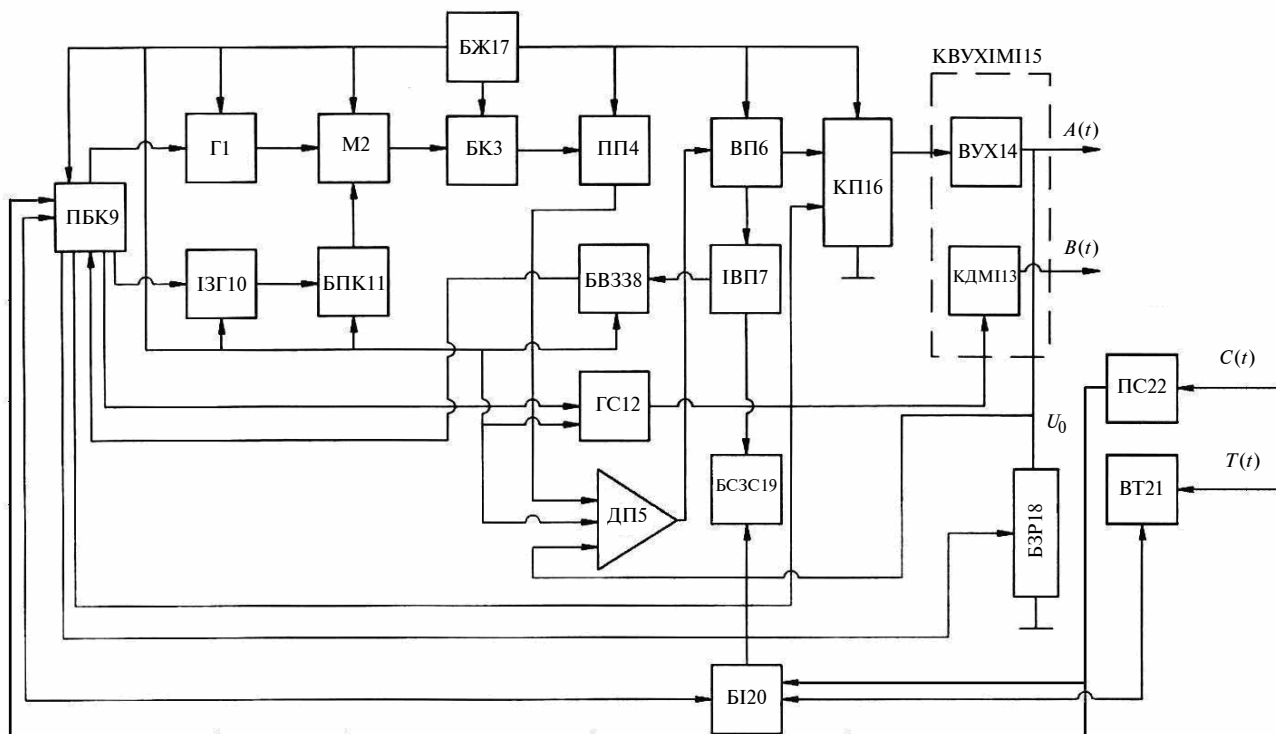


Рис. 3. Функціональна схема автоматизованого багатофункціонального апарата магнітофототерапії

Робота ланцюга контролю акустичного контакту заснована на контролі зміни сили струму в ланцюзі подільника п'єзовипромінювача та блока зразкових резисторів БЗР18. При підвищенні сили струму в цьому ланцюзі збільшується спад напруги U_0 на зразковому резисторі БЗР18. Це значення сигналу поступає на інвертований вхід диференційного підсилювача ДП5, що змінює значення вихідного сигналу з диференційного підсилювача ДП5 і вихідного підсилювача ВП6. Змінений сигнал через індикатор вихідної потужності ІВП7 поступає в блок світлової і звукової сигналізації БСЗС19, що своєю чергою формує звуковий сигнал і світловий спалах, сигналізуючи про погіршення акустичного контакту з БТ.

Для контролю та коректування параметрів УЗ і МП апарат містить блок від'ємного зворотного зв'язку БВ338 і ланцюг зворотного зв'язку, реалізований блоком індикації БІ20, з'єднаним із програмованим блоком керування ПБК9, блоком світлової і звукової сигналізації БСЗС19, блоком вимірювання температури ВТ21 та пульсоксиметром ПС22, який своєю чергою з'єднаний з програмованим блоком керування ПБК9. Значення температури, пульсу та сатурації БТ відображається на блоці індикації БІ20. Кон-

структивно випромінювач ультразвукових хвиль ВУХ14, кероване джерело магнітної індукції КДМ113, сенсор глибинного вимірювання температури (радіометр) ВТ21 виготовлені у вигляді єдиного керованого циліндричного випромінювача ультразвукових хвиль і магнітної індукції КВУХІМІ15, в центрі якого розміщений випромінювач ультразвукових хвиль і магнітної індукції ВУХ14, охоплений пустотілим соленоїдом.

Розглянемо алгоритм контролю ефективності впливу УЗ і МП на БТ (рис. 4), який пояснює процес коректування параметрів магнітного й ультразвукового сигналів у запропонованому апараті магнітофототерапії. Перший етап – перевірка умови живлення випромінювача та наявності встановленого часу процедури. На другому етапі відбувається вимірювання температури, пульсу та сатурації БТ до, під час та після закінчення процедури терапії. Третім етапом є передача сигналів $T(t)$ та $PC(t)$ на програмований блок керування ПБК9, де відбувається перевірка значення температури, пульсу та сатурації із критично допустимими показниками. Якщо значення перевищено, то блок індикації БІ20 передає сигнал до блока світлової та звукової сигналізації БСЗС19 і припиняє роботу випромінювача КВУХІМІ15, записуючи

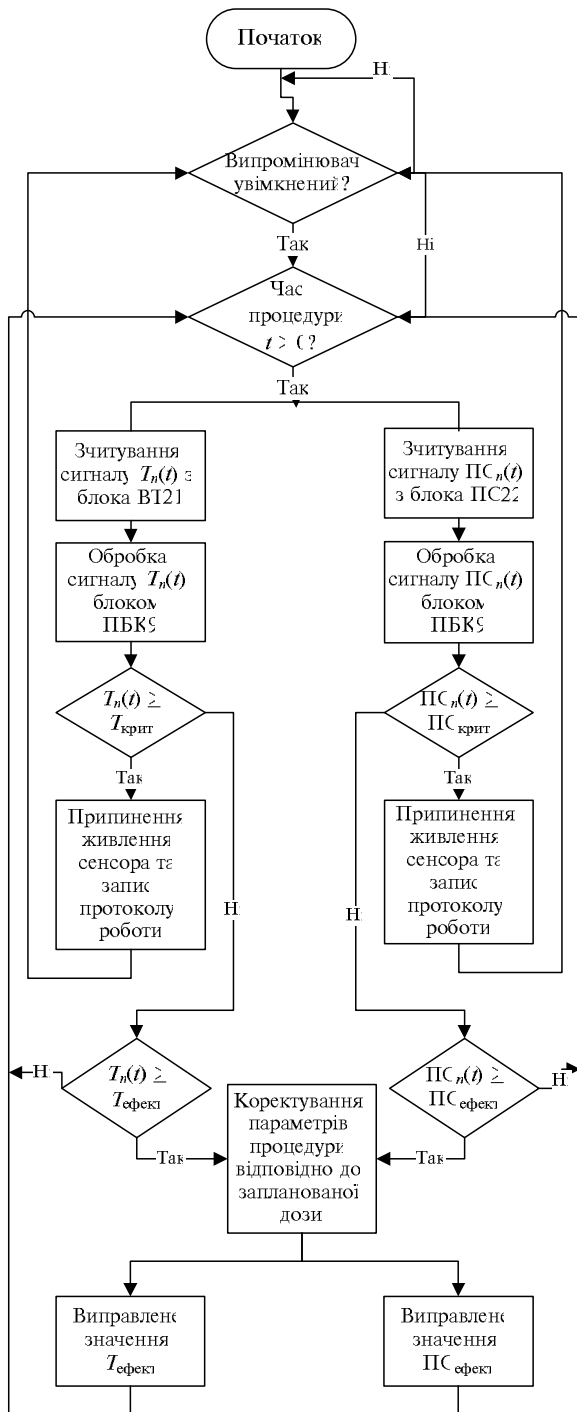


Рис. 4. Блок-схема алгоритму контролю ефективності впливу ультразвуку і магнітного поля на біологічну тканину з використанням зворотного зв'язку

протокол роботи (пристрій керування зберігає в пам'яті отриману пацієнтом дозу випромінювання). За умови, що значення температури, пульсу та сатурації досягло ефективного значення $T_{\text{ефект}}$, $PC_{\text{ефект}}$, програмований блок ке-

рування ПБК9 коректує параметри УЗ і МП відповідно до запланованої дози випромінювання при проведенні процедури. За новими параметрами процедури встановлюються нові значення $T_{\text{ефект}}$ і $PC_{\text{ефект}}$. Контроль продовжується до моменту, коли час процедури вичерпано.

За допомогою вимірювання температури, пульсу та сатурації досягається достовірний постійний контроль за ефективністю впливу заданих параметрів УЗ і МП на БТ під час проведення фізіотерапевтичної процедури. Коректування параметрів магнітного й ультразвукового сигналів за допомогою біотехнологічного зворотного зв'язку в запропонованому апараті магнітофототерапії відповідно до температури, пульсу та сатурації БТ дасть можливість організувати лікувальний процес, оптимізований відповідно до реакції організму на магнітофототерапевтичний вплив, та досягти при цьому найбільшого покращення стану пацієнта.

Висновки

Дослідження фізіологічних показників організму людини є основою для створення нового типу апаратів магнітотерапії зі зворотним зв'язком, які дають змогу змінювати біотропні параметри МП відповідно до фізіологічних параметрів пацієнта під час сеансу магнітотерапії. Проведені нами дослідження зміни фізіологічних параметрів під час дії МП, таких як температура, пульс, сатурація й АТ, дають можливість об'єктивно оцінити реакцію БТ на дію змінного МП та відповідають тенденціям клінічних досліджень цих фізіологічних показників людини при магнітотерапії в працях авторів [5–12]. Розглянуті адаптивні можливості формування адекватних впливів системи магнітофототерапії на основі аналізу контрольованих фізіологічних показників пацієнта та регулювання параметрів МП. Запропонований апарат магнітофототерапії з алгоритмом контролю ефективності дії УЗ і МП на БТ забезпечує можливість коректування параметрів магнітного й ультразвукового сигналів відповідно до температури, пульсу та сатурації БТ під час проведення фізіотерапевтичної процедури.

У подальших роботах будуть проведені дослідження технічних характеристик експериментальної моделі запропонованого нами біокерованого апарата магнітофототерапії.

1. *Магнитотерапия* больных артериальной гипертонией: Пособие для врачей / А.А. Миненков, Э.М. Орехова, С.М. Зубкова и др. // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ-ры.* – 2005. – № 3. – С. 53–54.
2. *Техника комплексной магнитотерапии в XXI веке* / А.М. Беркутов, В.И. Жулев, В.Г. Кряков, Е.М. Прошин // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника.* – 2001. – № 7. – С. 6–13.
3. *Улащик В.С.* Биосинхронизированная физиотерапия: общие основы, использование и перспективы развития // *Здравоохранение.* – 2008. – № 5. – С. 13–18.
4. *Улащик В.С.* Теоретические и практические аспекты общей магнитотерапии // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ-ры.* – 2001. – № 5. – С. 3–8.
5. *Кобец Г.Г.* Реакция организма при локальном воздействии переменного магнитного поля (ПеМП) на различные области тела человека // *Обл. научно-практ. конф. “Магнитные поля в медицине, биологии и сельском хозяйстве”, 18–19 октября 1985 г., Ростовна-Дону.* – Ростов н/Д, 1985. – С. 28–29.
6. *Милославский Д.К.* Клініко-патогенетичні основи ефективності магнітотерапії при гіпертонічній хворобі: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Х., 1995. – 25 с.
7. *Золотухина Е.И., Улащик В.С.* Магнитотерапия больных артериальной гипертензией // *Здравоохранение.* – 2003. – № 11. – С. 17–22.
8. *Абрамович С.Г.* Физиотерапия гипертонической болезни у пожилых // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ-ры.* – 2000. – № 3. – С. 50–51.
9. *Лукьянова Т.В.* Сочетанная магнитотерапия артериальной гипертонии (экспериментально-клиническое исследование): Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2002. – 21 с.
10. *Улащик В.С., Золотухина Е.И., Хапалюк А.В.* Общая низкочастотная магнитотерапия в комплексном лечении больных артериальной гипертензией // *Здравоохранение.* – 2005. – № 3. – С. 17–20.
11. *Жуков Б.Н., Труфанов Л.А., Мусиенко С.М.* Изменение транскапиллярного обмена у больных с хронической венозной недостаточностью ног под влиянием постоянного магнитного поля // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ-ры.* – 1981. – № 4. – С. 28–31.
12. *Никитенко И.К.* О показаниях к применению магнитотерапии в травматологии и ортопедии // *Обл. научно-практ. конф. по магнитотерапии в травматологии и ортопедии.* – Оренбург, 1982. – С. 3–6.
13. *Тимчик Г.С., Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю.* Система температурного контроля в магнітотерапії // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”.* – 2013. – № 1. – С. 111–117.
14. *Боголюбов В.М., Васильева М.Ф., Воробьев М.Г.* Техника и методики проведения физиотерапевтических процедур: Справочник. – М.: Медицина, 2001. – 408 с.
15. *Хижняк Е.П.* Анализ термоструктур биологических систем методом матричной инфракрасной термографии: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. – Пушкино, 2009. – 26с.
16. *Рудик В.Ю.* Исследование изменения температуры биологической ткани при воздействии низкочастотного магнитного поля // *IX Междунар. конф. “Актуальные вопросы биологической физики и химии БФФХ-2013”, 22–26 апреля 2013 г. – Севастополь, 2013.* – С. 47–49.
17. *Тушкаитов Р.Х., Новошинов Г.П.* О полном межэлектродном сопротивлении тела биообъектов и его эквивалентной схеме // *Медицинская техника.* – 1970. – № 3. – С. 25–30.
18. *Черепнев И.А.* Биологические эффекты при воздействии электромагнитных волн // *Системы управління, навігації та зв’язку.* – 2007. – Вип. 3. – С. 118–124.
19. *Пономаренко Г.Н.* Биофизические основы физиотерапии. – М.: Медицина, 2006. – 176 с.
20. *Иларионов В.Е.* Магнитотерапия. – М.: КД “Либромком”, 2009. – 136 с.
21. *Золотухина Е.И., Е. И. Золотухина, Улащик В.С.* Основы импульсной магнитотерапии: Справ. пособие. – Витебск: Витеб. обл. тип., 2008. – 144 с.