

УДК 615.84

<sup>1</sup>Рудик В.Ю., <sup>2</sup>Рудик Т.О., <sup>2</sup>Поліщук О.Б.

<sup>1</sup>Інститут фізики та біофізики НАН України

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК В АПАРАТАХ МАГНІТОТЕРАПІЇ

*Розглянуто питання здійснення зворотного зв'язку в промислових магнітотерапевтичних апаратах. Нами запропоновано принцип реалізації зворотного зв'язку в апараті адаптивної імпульсної магнітотерапії на основі вимірювання магнітної індукції та фізіологічних показників (температури, пульсу, артеріального тиску, сатурації) людини з аналізом даних параметрів програмованим блоком керування та зміною біотропних параметрів магнітного поля відповідно до даних показників. В даному апараті додатково до, під час та після сеансу магнітотерапії вимірюють значення артеріального тиску (вимірювач артеріального тиску і пульсу), пульсу і сатурації (пульсоксиметр). Проведено порівняльний аналіз за допомогою математичного моделювання лікувальної ефективності промислових магнітотерапевтичних апаратів без зворотного зв'язку та запропонованого нами апарату адаптивної імпульсної магнітотерапії, який показує, що використання адаптивного зворотного зв'язку покращує лікувальну ефективність у порівнянні з діючими серійними магнітотерапевтичними апаратами: у 2,5 разів («ПОЛЮС-4»), у 2,6 разів («МИТ-11») та у 3,2 рази («МАГ-30-4»).*

**Ключові слова:** магнітотерапевтичний апарат, зворотний зв'язок, лікувальна ефективність.

Сучасний етап розвитку біомедичного приладобудування потребує розробки нових принципів побудови апаратів магнітотерапії локальної дії, що реалізують принцип адаптивного керування сигналом зворотного зв'язку (ЗЗ) з врахуванням реакції організму людини на вплив змінного магнітного поля (МП) протягом сеансу магнітотерапії.

Розрізняють 2 види класифікації ЗЗ:

- 1) за принципом реалізації в магнітотерапевтичних апаратах (МТА);
- 2) за об'єктами, що їм охоплюються.

Завдання магнітотерапії полягає в оптимізації методів реалізації ЗЗ (параметричного, фізіологічного, хронобіологічного, біорезонансного) що покладено в основу розробки нового покоління біокерованих (на принципі ЗЗ) МТА [1].

**Параметрична оптимізація** – це досягнення максимального терапевтичного ефекту шляхом використання оптимальних біотропних параметрів МП (магнітної індукції, частоти, форми поля, експозиції, модуляції за амплітудою та частотою, локалізації та інші).

**Фізіологічна оптимізація** – це покращення ефективності процедури магнітотерапії шляхом налаштування та корегування біотропних параметрів МП відповідно до зміни фізіологічних показників організму людини при дії МП.

**Хронобіологічна оптимізація** – це підвищення ефективності лікування МП за рахунок врахування біологічних ритмів організму людини.

**Біорезонансна оптимізація** – це відповідність параметрів магнітотерапевтичного впливу біофізичним характеристикам тканин, клітин та молекул організму людини, що дозволяє здійснювати не тільки вибірково (селективну), проте і максимально специфічну дію. При цьому частота впливу МП повинна відповідати резонансним частотам біологічної тканини.

Види ЗЗ (за об'єктами, що їм охоплюються):

- медичний (підбір та налаштування методик до конкретного пацієнта, контроль лікарем результатів впливу безпосередньо під час та після курсу магнітотерапії);
- біотехнічний (корекція лікувального впливу та контроль за станом пацієнта, синхронізація впливу з його біоритмами);
- технічний (контроль біотропних параметрів діючого МП, порівняння їх з необхідними, при необхідності корекція роботи блоку керування та забезпечення електромагнітної сумісності МТА з діагностичною апаратурою).

Основні напрями розробки нової МТА полягають в реалізації наступних принципів [2, 3]:

- комплексність (розробка багатофункціональних МТА комбінованої дії фізичними полями, новими лікувальними фізичними факторами та композиціями МП);

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- синхронність (проведення імпульсної магнітотерапії синхронно з природними циклами та ритмічними процесами в органах і тканинах, що підвищує ефективність впливу та знижує степінь адаптації організму);

- адаптивність (використання технічних і біотехнічних ЗЗ, що реалізують методи біокерованої фізіотерапії);

- оптимальність (оптимізація характеристик МТА та біотропних параметрів МП);

- використання мікропроцесорних інформаційних технологій, нанотехнологій, що регулюють функції організму на рівні біологічних молекул та систем електронних асамблей.

Метою роботи є аналіз реалізації ЗЗ в промислових МТА, запропонованому нами апараті адаптивної імпульсної магнітотерапії, порівняльна кількісна оцінка лікувальної ефективності запропонованого нами апарату адаптивної імпульсної магнітотерапії з серійними МТА без ЗЗ.

На даний момент ЗЗ здебільшого використовується в МТА загальної дії [4] та реалізується шляхом контролю фізіологічних показників організму людини (датчики пульсу, дихання, температури та т.п.) («Аврора МК», «Магнитор АМП», «Мультимаг МК-04») та синхронізації впливу МП з біологічними ритмами пацієнта («Магнитотурботрон Люкс»), за рахунок біорезонансної терапії («Градиент-4М», «МИТ-МТ») та визначення оптимальних параметрів магнітотерапевтичного впливу (параметричний вид ЗЗ - апарати «АТМТ-01 М», «BTL 5940 Magnet», «Magnetomed 8400»). Серед діючих МТА локальної дії слід відмітити єдиний МТА з фізіологічним ЗЗ - «Каскад Синхро (Биос)». Апарат магнітотерапії «Каскад Синхро (Биос)» представляє собою програмований генератор сигналів спеціальної форми та оснащений пульсометричним датчиком. Вибір форми та параметрів синхронізації електромагнітного імпульсу з пульсом пацієнта дозволяє в режимі ЗЗ довільно керувати тонусом кровеносних судин.

В запропонованому нами апараті адаптивної імпульсної магнітотерапії [5] в якості параметрів ЗЗ обрано магнітну індукцію, температуру, пульс, сатурацію, артеріальний тиск пацієнта. Необхідність оснащення даного МТА засобами для вимірювання обраних параметрів обумовлена наступними факторами.

Фактична величина магнітної індукції (найбільш важливого біотропного параметру МП) в робочому просторі магнітного індуктора залежить від конструктивних та електричних параметрів індуктора, сили струму, що протікає через індуктор, та, як правило, відрізняється від встановленого на апараті значення, що послаблює лікувальну ефективність магнітотерапії.

Вибір температури обумовлений тим, що температура – інтегральний показник ефективності дії МП на біологічну тканину [6]:

- протікання патологічного процесу призводить до виникнення відповідної температурної реакції;

- під час сеансу магнітотерапії важливим є отримання інформації про температуру біологічної тканини (досліджується індивідуальна реакція організму людини на тепловий механізм дії МП; зміна температури організму людини є пусковим механізмом для різноманітних реакцій, рівень яких залежить від терморегуляторних та метаболічних характеристик тканини; у випадку перевищення гранично допустимого значення температури порушується терапевтичний ефект дії МП, що приводить до необхідності припинити процедуру магнітотерапії).

Найчастіше в якості синхронізуючого фактору при дії МП на біологічну тканину використовують пульс пацієнта. Вибір пульсу обумовлений його перевагами:

- система кровообігу, завдяки наявності власного апарату саморегуляції, реагує на всі зміни в органах і системах, внаслідок чого її можна розглядати як універсальний індикатор діяльності цілого організму;

- методика реєстрації пульсу пацієнта досить проста технічно та необтяжлива для пацієнта; датчики, які використовуються, стійкі до електромагнітних перешкод під час сеансу магнітотерапії та не травмують пацієнта;

- достатньо висока частота утворення синхронізуючих моментів протягом одного сеансу магнітотерапії.

Під впливом слабого МП (магнітна індукція 0,5-50 мТл) нормалізується рівень підвищеного артеріального тиску. Дана обставина обумовлює необхідність вимірювання артеріального тиску протягом сеансу магнітотерапії хворих на артеріальну гіпертензію.

Сатурація (насичення гемаглобіну крові киснем) – важливий діагностичний та моніторинговий фізіологічний показник, який використовується в анестезіології, реанімації для контролю стану людини. Низька сатурація крові киснем приводить до послаблення

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

серцево-судинної і імунної системи, уповільнюється робота мозку. Наслідком цього є не тільки послаблення фізичного стану людини, але і затримка розумового розвитку людини. Нормою сатурації артеріальної крові вважають 95-100%. При 94% розвивається гіпоксія і необхідні міри щодо її запобігання, менше 90% - ситуація критична, пацієнт потребує швидкої медичної допомоги.

На рис. 1 запропоновано принцип реалізації даного ЗЗ в апараті адаптивної імпульсної магнітотерапії [5] на основі вимірювання магнітної індукції та фізіологічних показників (температури, пульсу, артеріального тиску, сатурації) пацієнта з аналізом даних параметрів програмованим блоком керування (ПБК) та зміною лікарем біотропних параметрів МП відповідно до даних показників. В даному апараті додатково до, під час та після сеансу магнітотерапії вимірюють значення артеріального тиску (вимірювач артеріального тиску і пульсу (ВАТП)), пульсу і сатурації артеріальної крові (пульсоксиметр (ПС)). Вимірювач температури (ВТ) реєструє значення температури біологічної тканини до сеансу магнітотерапії, в зоні дії МП під час проведення процедури магнітотерапії та після сеансу. Тесламетр (ТЛ) вимірює фактичне значення магнітної індукції пацієнта в зоні дії МП. Блок вимірювання сигналу ЗЗ (БВСЗЗ) включає в себе первинні датчики та вимірювальні прилади (ВТ, ТЛ, ВАТП, ПС), що вбудовані в апарат магнітотерапії. Безпосередні вимірювання здійснюються первинними датчиками. Датчики для вимірювання температури та магнітної індукції розташовані на робочій частині магнітного індуктору. Датчики для вимірювання артеріального тиску і пульсу та пульсу і сатурації виносні. Значення біотропних параметрів МП, фізіологічних показників та магнітної індукції пацієнта відображаються на блоці індикації (БІ). ПБК оцінює ефективність лікування за зміною фізіологічних показників та фактичного значення магнітної індукції людини. На основі аналізу результатів даних вимірювань та клінічного досвіду ПБК визначає оптимальні біотропні параметри МП в процесі лікування пацієнта. БІ та ПБК разом складають блок цифрової обробки даних (БЦОД). БВСЗЗ та БЦОД разом складають вимірювально - діагностичну систему апарату адаптивної магнітотерапії.

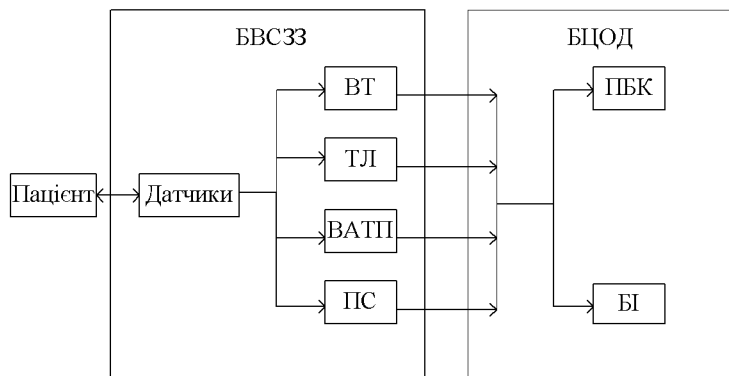


Рис. 1. Реалізація вимірювально-діагностичної системи в апараті адаптивної імпульсної магнітотерапії

Досягнення високої терапевтичної ефективності апаратів магнітотерапії є актуальною проблемою на сучасному етапі розвитку медичного приладобудування. Проведемо дослідження лікувальної ефективності апарату адаптивної імпульсної магнітотерапії. Важливим етапом та однією з необхідних умов рішення цієї проблеми є кількісна оцінка лікувальної ефективності МТА, що здійснюється за допомогою вибору спеціального показника - критерію ефективності, який визначається за формулою [7]:

$$E_a = \frac{(1 - P_a) \sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n P_{ji}}{P_a + \sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n P_{ji}}, \quad (1)$$

де  $P_{ji}$  - ймовірність успішного виконання  $j$ -м блоком  $i$ -ї операції обчислюється за формулою

$$P_{ji} = 1 - \left(1 - \frac{k_j}{K}\right)^n, \quad (2)$$

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

де  $n$  – кількість блоків апарату;  $K$  – кількість всіх операцій, що виконуються МТА;  $k_j$  – кількість операцій, що виконуються  $j$  – блоком;  $n_i$  – кількість блоків, що призначені для виконання  $i$ -ї операції;  $P_a = e^{-\lambda t}$  – ймовірність прояву ефекту звикання;  $\lambda = (N - N_a) / (N \cdot \Delta t)$  – інтенсивність ефекту;  $N$  – загальна кількість процедур;  $N_a$  – кількість процедур без підвищення лікувального ефекту;  $\Delta t$  – тривалість кожного сеансу магнітотерапії.

Відповідно до [8] кількість процедур магнітотерапії під час курсу лікування пацієнта складає 10...20 (оберемо  $N = 15$ ), тривалість кожної процедури складає 10 - 20 хвилин. Для МТА зі 33  $N_a = 0$ ,  $N - N_a = 5$  [7].

Приведемо основні блоки, що входять до складу МТА та операції, що виконуються блоками (табл. 1): 1 - ПБК; 2 - магнітний індуктор (МІ); 3 - БВСЗЗ; 4 - БІ.

В табл. 2 представлено число операцій ( $k_j, j = \overline{1, 4}, j$ - номер блоку), що виконуються кожним блоком апарату адаптивної імпульсної магнітотерапії, серійних МТА «МАГ-30-4», «ПОЛЮС-4» та «МИТ-11», вважаємо, що  $n_i = n$ .

Показники  $P_{ji}$  розраховуються за формулою (2) з врахуванням табл. 2 для МТА.

Для «МАГ-30-4»:  $P_2 = P_{21}$ .

Для «ПОЛЮС-4»:  $P_1 = P_{11}; P_2 = P_{21}; P_4 = P_{41}$ .

Для «МИТ-11»:  $P_1 = P_{11}; P_2 = P_{21} \cdot P_{22}; P_4 = P_{41}$ .

Для апарату адаптивної імпульсної магнітотерапії:

$P_1 = P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13}; P_2 = P_{21}; P_3 = P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{34}; P_4 = P_{41}$ .

Таблиця 1

Операції, що виконуються блоками МТА

№	Блок апарату	Операції
1	ПБК	1 - установка та корегування біотропних параметрів МП 2 - визначення оптимальних параметрів МП в процесі лікування 3 - оцінка ефективності лікування за зміною фізіологічних показників, фактичного значення магнітної індукції пацієнта 4 - автоматичне вимкнення апарату при досягненні гранично допустимого значення температури біологічної тканини
2	МІ	1 - генерація МП 2 - додатковий вплив фізичних полів
3	БВСЗЗ	реєстрація фізіологічних показників та магнітної індукції: 1 - температури 2 - магнітної індукції 3 - пульсу і артеріального тиску 4 - пульсу і сатурації
4	БІ	1 - індикація біотропних параметрів МП 2 - індикація фізіологічних показників та магнітної індукції пацієнта

Таблиця 2

Число операцій, що виконуються блоками МТА

МТА	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$n$	$K$
Апарат адаптивної імпульсної магнітотерапії	3	1	4	1	4	9
«МАГ-30-4»	-	1	-	-	1	1
«ПОЛЮС-4»	1	1	-	1	3	3
«МИТ-11»	1	2	-	1	3	4

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Значення  $P_j, j = \overline{1,4}$  та коефіцієнтів лікувальної ефективності МТА  $E_a$  за формулою (1) представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Лікувальна ефективність МТА

МТА	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_a$	$E_a(\%)$
Апарат адаптивної імпульсної магнітотерапії	0,5167	0,3757	0,6699	0,3757	0,3678	53,13
«МАГ-30-4»	-	1	-	-	0,7165	16,5
«ПОЛЮС-4»	0,7037	0,7037	-	0,7037	0,7165	21,2
«МИТ-11»	0,5781	0,7656	-	0,5781	0,7165	20,7

Проведено порівняльний аналіз за допомогою математичного моделювання лікувальної ефективності промислових МТА та запропонованого нами апарату адаптивної імпульсної магнітотерапії, який показує, що використання адаптивного ЗЗ покращує лікувальну ефективність у порівнянні з діючими серійними МТА: у 2,5 разів («ПОЛЮС-4»), у 2,6 разів («МИТ-11») та у 3,2 рази («МАГ-30-4»).

### Інформаційні джерела

1. Улащик В.С. Физическая терапия в XXI веке / В.С. Улащик // Здоровоохранение. - 2005, № 3. - С. 17-20.
2. Беркутов А.М. 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. Новые методы физиотерапии и устройства для их применения / В.С. Улащик // Вестник курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, 2011, №1. - С. 28-32.
4. Беркутов А.М. Системы комплексной электромагнитотерапии: Учебное пособие для вузов / А.М. Беркутов, В.И. Жулев, Г.А. Кураев и др. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. - 376 с.
5. Патент України на корисну модель 97907, МПК А61N 2/04 Спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик, Т.О. Рудик, заявник та патентовласник НТУУ «КПІ». - № у 201411483; заявл. 22.10.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. №7.
6. Гуляр С.А. Постоянные магнитные поля и их применение в медицине / С.А. Гуляр, Ю.П. Лиманский. - К.: Ин-т физиол. им. А.А. Богомольца НАН Украины, 2006. - 320с.
7. Шликов В.В. Комп'ютерний комплекс адаптивної магнітотерапії: Автореф. дис. канд. техн. наук, Київ, 2004.- 20 с.
8. Боголюбов В.М. Техника и методики проведения физиотерапевтических процедур. Справочник / В.М. Боголюбов, М.Ф. Васильева, М.Г. Воробьев. - М.: Медицина, 2001. - 403 с.

<sup>1</sup>Рудик В.Ю., <sup>2</sup>Рудик Т.А., <sup>2</sup>Полищук Е.Б.

<sup>1</sup>Институт прикладных проблем физики и биофизики АН Украины

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины "КПИ" имени Игоря Сикорского

### ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В АППАРАТАХ МАГНИТОТЕРАПИИ

*Рассмотрен вопрос об осуществлении обратной связи в промышленных магнитотерапевтических аппаратах. Нами предложен принцип реализации обратной связи в аппарате адаптивной импульсной магнитотерапии на основе измерения магнитной индукции и физиологических показателей (температуры, пульса, артериального давления, сатурации) человека с анализом данных параметров программируемым блоком управления и изменением биотропных параметров магнитного поля соответственно данным показателям. В данном аппарате дополнительно до, во время и после сеанса магнитотерапии измеряют значения артериального давления (измеритель артериального давления и пульса), пульса и сатурации (пульсоксиметр). Проведен сравнительный анализ с помощью математического моделирования лечебной эффективности промышленных магнитотерапевтических аппаратов без обратной связи и предложенного нами аппарата адаптивной импульсной магнитотерапии, который показывает, что использование адаптивной обратной связи улучшает лечебную эффективность по сравнению с действующими серийными магнитотерапевтическими аппаратами : в 2,5 раз («ПОЛЮС 4»), в 2,6 раз («МИТ-11») и в 3,2 раз («МАГ-30-4»).*

**Ключевые слова:** магнитотерапевтический аппарат, обратная связь, лечебная

эффективность.

<sup>1</sup>V. Rudyk, <sup>2</sup>T. Rudyk, <sup>2</sup>O. Polishchuk

<sup>1</sup>Institute of Applied Problems of Physics and Biophysics of Ukrainian NAS

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute»

### THE FEEDBACK IN MAGNETOTHERAPY APPARATUS

*The question of realization of feed-back in industrial magnetotherapy apparatus is considered. We considered the principle of realization of feed-back in adaptive impulsive magnetotherapy apparatus on the basis of measuring of man's magnetic induction and physiological indexes (temperature, pulse, blood pressure, saturation) with the analysis of this parameters by programmed block of control and with the change of biotrope parameters of magnetic field according to these indexes. In this apparatus in addition before, in time and after session of magnetotherapy values of blood pressure (measuring of blood pressure and pulse), pulse and saturation (pulseoximeter) is measuring. The comparative analysis with use the mathematical modelling of medical effectiveness of industrial magnetotherapy apparatus that have not feed-back and proposed impulsive magnetotherapy adaptive apparatus shows, that the use of adaptive feed-back improve the medical effectiveness as compared to existing serial magnetotherapy apparatus: in 2,53 times («POLUS-4»), in 2,59 times («MIT-11») and in 3,25 times («MAG-30-4»).*

**Key words:** magnetotherapy apparatus, feed-back, medical effectiveness.