

УДК 615.84

Т.О.Рудик, к.ф.-м.н., М.Ф.Терещенко, к.т.н., В.Ю. Рудик
Національний технічний університет України «КПІ»

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ В МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНОМУ АПАРАТІ ЛОКАЛЬНОЇ ДІЇ

Розглянуто підхід до оптимізації керування сигналом зворотного зв'язку в апараті магнітотерапії адаптивної локальної дії, що базується на аналізі фізіологічних показників організму людини.

Ключові слова: магнітотерапевтичні апарати, адаптивне керування, зворотній зв'язок.

Рассмотрен подход к оптимизации управления сигналом обратной связи в аппарате магнитотерапии адаптивного локального действия, который основан на анализе физиологических показателей организма человека.

Ключевые слова: магнитотерапевтические аппараты, адаптивное управление, обратная связь.

The approach to optimisation of control by a feed-back signal in the apparatus of a magnetotherapy of adaptive local action which is based on the analysis of physiological parameters of a human organism is considered.

Keywords: magnetotherapy apparatuses, adaptive control, feed-back.

Магнітотерапія – метод фізіотерапії, що заснований на лікувально терапевтичній дії магнітних полів (МП). Ефективність лікувальної дії МП залежить від параметрів МП, їх стабільності на протязі процедури, фізіологічних показників пацієнтів та індивідуальної магніточутливості організму людини [1,2].

Аналіз діючих магнітотерапевтичних апаратів (МТА) показує, що більшість з них побудована на основі однонаправленого керування:

- серед діючих МТА, що серійно випускаються значними партіями, відсутні МТА локальної дії з біотехнічним зворотним зв'язком;
- зворотній зв'язок використовується в дослідних та експериментальних зразках магнітотерапевтичних комплексів [2], що призначені для загальної дії на весь організм людини («Мультимаг», «Аврора» та інші.).

Важливою перевагою апаратів локальної дії, що застосовуються для лікування конкретних ділянок організму людини та більш зручні та ефективні при лікуванні місцевих процесів, є можливість використання їх не тільки в стаціонарах, а й в домашніх умовах, а також в польових військових шпиталях під час бойових дій при лікуванні поранених.

Тому на сучасному етапі розвитку медичного приладобудування виникає необхідність створювати МТА адаптивної локальної дії зі зворотним зв'язком на основі реєстрації фізіологічних показників людини. Лікар контролює стан пацієнта на основі аналізу зміни фізіологічних показників та корегує відповідно ньому біотропні параметри МП.

Розглянемо алгоритм процедури оптимізації біотропних параметрів МП відповідно до фізіологічних показників стану організму людини в апараті магнітотерапії (рис. 1). Перед початком сеансу магнітотерапії з бази даних відповідно до захворювання та стану пацієнта обираємо методику лікування МП.

Крок 1. З методики магнітотерапії введено $X^j = \{x_q\}^j$ - вектор біотропних параметрів МП, що відповідають j-му методу лікування пацієнта П, x_q - регульовані біотропні параметри МП (магнітна індукція, частота, час дії), $q=\overline{1,m}$; $Y^j = \{y_s\}^j$ - вектор фізіологічних показників пацієнта, y_s - фізіологічні показники i-го пацієнта, що вимірюються (артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, температура, показники реоелектрограми (РЕГ), електрокардіограми (ЕКГ) та т.п.), $s = \overline{1,m}$. Y_0^j - вектор початкових фізіологічних показників пацієнта до сеансу магнітотерапії. З бази даних обираються значення основних функціональних і фізіологічних показників, що характеризують «норму», до яких необхідно прагнути при даному захворюванні для даного пацієнта, враховуючи основне та супутні захворювання. Значення «норми» отримують шляхом набору та усереднення великих масивів статистичної інформації, отриманої в результаті лікування даного захворювання, з врахуванням кореляційних зв'язків та фільтрацією «шумових» факторів.

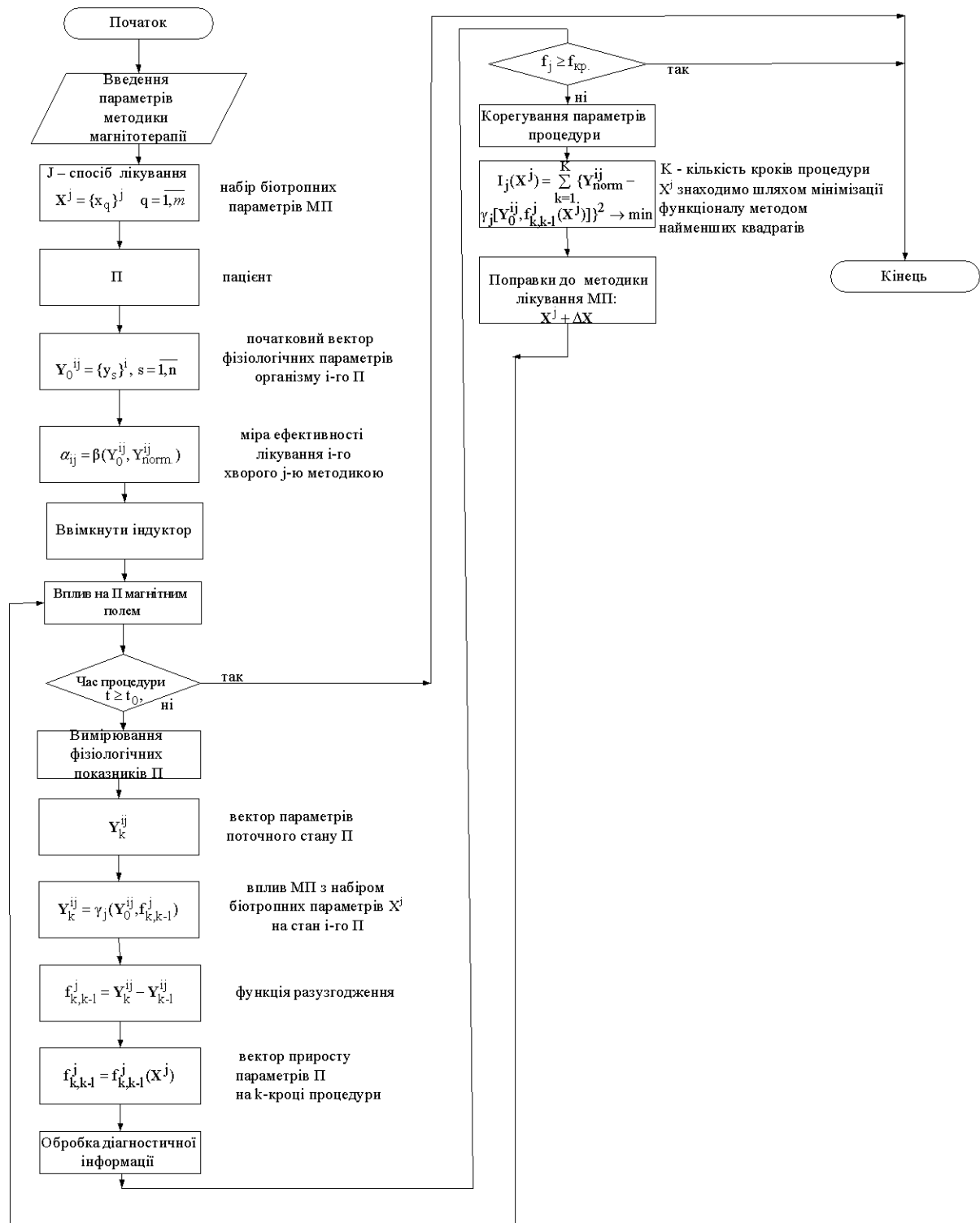


Рис. 1. Алгоритм корегування біотропних параметрів магнітного поля відповідно до аналізу фізіологічних показників людини

Крок 2. Введемо функцію ефективності лікування $\alpha_{ij} = \beta(\mathbf{y}_0^i, \mathbf{y}_n^i)$, значення якої можуть служити показником ефективності лікування і-го хворого j-ю методикою. Якщо поточне значення часу більше часу методики магнітотерапії $t \geq t_0$, то процедура магнітотерапії припиняється. Між нормальними показниками та початковим станом і-го хворого існує функціональний зв'язок, що визначається проведеним сеансом магнітотерапії $\mathbf{Y}_k^{ij} = \gamma_j(\mathbf{Y}_0^i, \mathbf{f}_{k,k-1}^j)$, де \mathbf{Y}_k^{ij} - вектор поточних фізіологічних показників стану пацієнта.

Крок 3. За результатами вимірювань фізіологічних показників протягом сеансу магнітотерапії сенсорами формується функція разузгодження $\mathbf{f}_{k,k-1}^j = \mathbf{Y}_k^{ij} - \mathbf{Y}_{k-1}^{ij}$. Під час сеансу магнітотерапії відбувається перевірка поточних значень фізіологічних показників з критично допустимими

значеннями $f_j \geq f_{кр}$. Якщо дана умова виконується, то процедура магнітотерапії припиняється. Якщо ні, то відбувається корегування параметрів процедури, сеанс магнітотерапії продовжується з новими біотропними параметрами.

Крок 4. Вектор приросту параметрів пацієнта на k кроці процедури відносно 1 -го кроку $f_{k,k-1}^j = f_{k,k-1}^j(X^j)$ функціонально пов'язаний з вектором біотропних параметрів МП, які знаходяться методом найменших квадратів шляхом мінімізації функціоналу

$$I_j(X^j) = \sum_{k=1}^K \{Y_{ном}^{ij} - \gamma_j[Y_0^{ij}, f_{k,k-1}^j(X^j)]\}^2 \rightarrow \min, \text{ де } K - \text{загальна кількість кроків процедури.}$$

Для мінімізації функціоналу найбільш зручно використовувати метод Гауса-Зайделя, так як в даному випадку пошук відбувається на кожному кроці тільки за одною координатою та не потребує попереднього дослідження на взаємну кореляцію змінних біотропних параметрів МП, також для даного методу характерна найменша вірогідність впливу на пацієнта МП з недопустимою для нього комбінацією біотропних параметрів.

Крок 5. Вводиться поправка до методики лікування $X^j + \Delta X$. Процедура магнітотерапії продовжується з новими біотропними параметрами МП.

Запропонований алгоритм дозволить реалізувати біотехнічний зворотний зв'язок в апараті магнітотерапії та оптимізувати процес лікування МП захворювань організму людини. Складність практичної реалізації даного алгоритму в МГА обумовлена визначенням виду функцій β (функція ефективності лікування) та γ_j (функція, яка показує функціональний зв'язок між нормальними, початковими та поточними значеннями фізіологічних показників пацієнту).

До фізіологічних показників стану організму людини, що контролюються під час сеансу магнітотерапії, висувається ряд вимог [3]:

- фізіологічні показники людини повинні бути пов'язані з часом та змінюватися при впливі МП протягом однієї процедури магнітотерапії;
- показники повинні реєструватися неінвазивно, бажано безконтактно, автоматично та постійно протягом сеансу магнітотерапії.

Дані вимоги обґрунтували вибір нами в апараті магнітотерапії в якості фізіологічних показників пацієнта швидкість зростання температури біологічної тканини T'_t та частоту серцевих скорочень P .

Для корегування параметрів МП на основі контролю фізіологічних показників людини апарат магнітотерапії [4] містить ланцюг зворотного зв'язку (рис. 2), реалізований сенсором вимірювання температури СТ, пульсоксиметром ПС, блоком індикації БІ, програмованим блоком керування ПБК та блоком світлової і звукової сигналізації БСЗС.

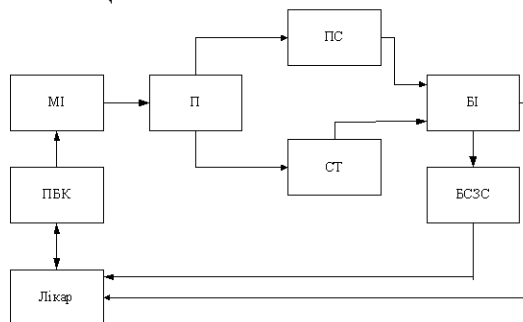


Рис. 2. Схема реалізації зворотного зв'язку в апараті магнітотерапії

Значення температури біологічної тканини та частоти серцевих скорочень відображаються на блоці індикації БІ. Програмований блок керування ПБК аналізує фізіологічні показники пацієнта П (температуру, частоту серцевих скорочень), перевіряє їх з критично допустимими $T_{кр}$, $P_{кр}$ і нормальними показниками $T'_{tном}$, $P_{ном}$, та корегує відповідно до них параметри впливу МП. Якщо значення $T_{кр}$, $P_{кр}$ перевищено, то блок світлової і звукової сигналізації БСЗС сигналізує лікарю, що потрібно припинити процедуру магнітотерапії. Конструктивно сенсор вимірювання температури СТ розташований на магнітному індукторі МІ.

За допомогою вимірювання температури біологічної тканини та частоти серцевих скорочень досягається моніторинг стану пацієнта під час процедури магнітотерапії.

Розглянемо алгоритм адаптивного корегування сигналу в апараті магнітотерапії (рис. 3).

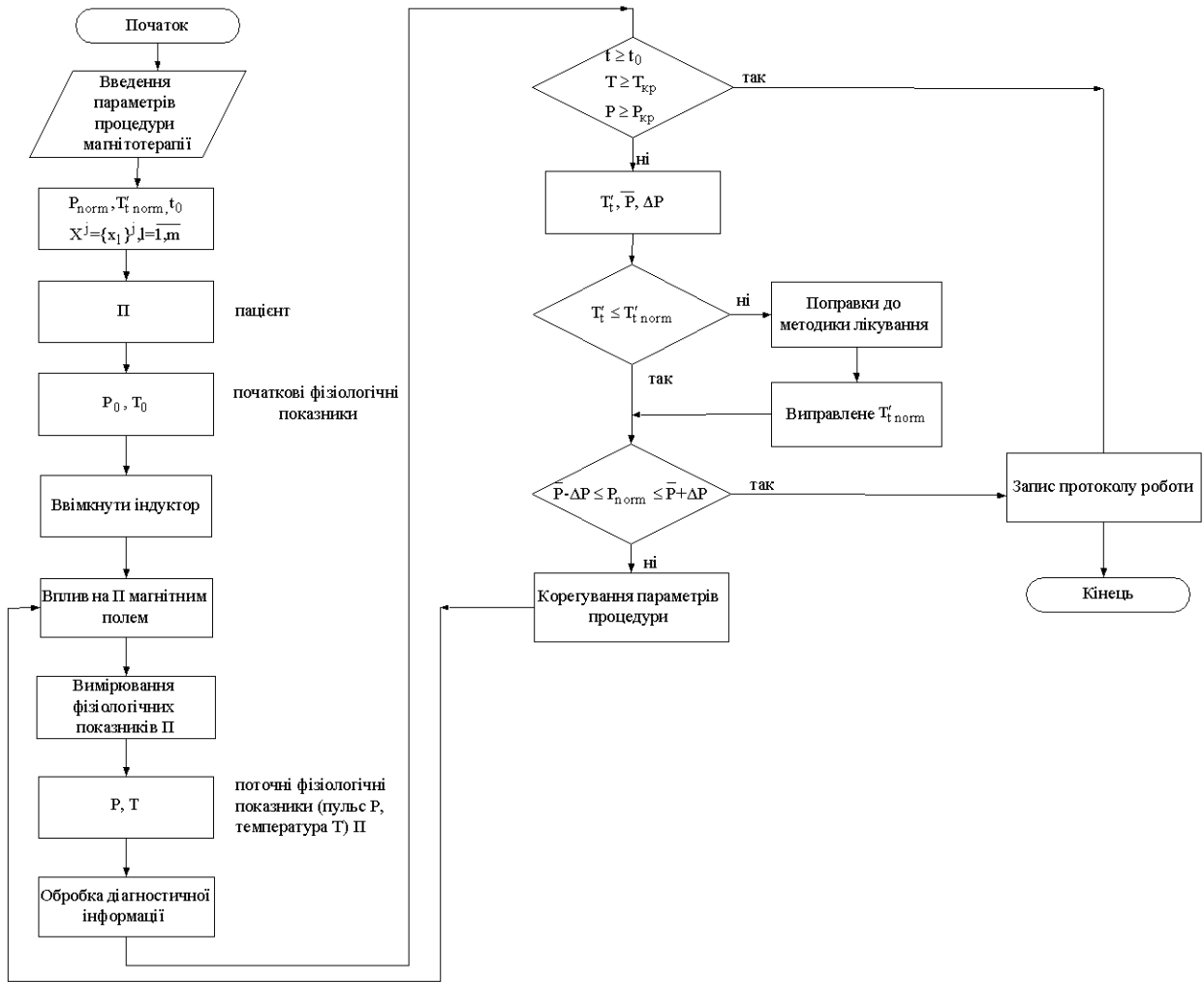


Рис. 3. Алгоритм адаптивного корегування сигналу в апараті магнітотерапії

Крок 1. Задача адаптивного керування біотропними параметрами магнітотерапевтичного впливу досягається тим, що перед початком лікування введено методику магнітотерапії з встановленими біотропними параметрами МП (магнітна індукція, частота, час дії t_0 , форма імпульсу) $X^j = \{x_l\}^j$, де j - спосіб лікування МП пацієнта П, $l = \overline{1, m}$.

Крок 2. Дані фізіологічні показники вимірюються до процедури магнітотерапії (початкові фізіологічні показники P_0, T_0), під час (поточні фізіологічні показники P, T) та порівнюються з критично допустимими (T_{kp}, P_{kp}) та нормальними ($T'_{t_{norm}}, P_{norm}$) показниками. Загальний час процедури t повинен бути не більше часу t_0 , встановленому в методиці магнітотерапії.

Крок 3. Якщо поточні значення фізіологічних показників та часу перевищили критично допустимі значення та час методики магнітотерапії $t \geq t_0, T \geq T_{kp}, P \geq P_{kp}$, то процедура магнітотерапії припиняється.

Крок 4. Якщо умова $T'_t < T'_{t_{norm}}$ не виконується, то вноситься поправка до методики лікування. Встановлюється виправлене значення $T'_{t_{norm}}$.

Крок 5. Потім відбувається перевірка умови $\bar{P} - \Delta P \leq P_{norm} \leq \bar{P} + \Delta P$, тобто нормальне значення частоти серцевих скорочень P_{norm} повинне знаходитися в коридорі шириною $2\Delta P$ відносно \bar{P} , де \bar{P} - усереднене значення частоти серцевих скорочень, ΔP - визначається в першому наближенні як похибка вимірювання частоти серцевих скорочень. Якщо дана умова не виконується, то відбувається корегування параметрів процедури. Процедура магнітотерапії продовжується з новими біотропними параметрами. Процедура магнітотерапії закінчується записом протоколу роботи, куди заносяться значення фізіологічних показників пацієнта та біотропних параметрів МП.

При реалізації даного алгоритму можна обмежитися тільки одним біотропним параметром. Найбільш важливим біотропним параметром, який піддається оптимізації під час сеансу магнітотерапії, є середня магнітна індукція, яка визначається як

$$B_{cp} = \left(\sum_{i=1}^n B_i t_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n t_i \right),$$

де B_i - магнітна індукція протягом i -го такту; t_i - довжина i -го такту; B_{cp} - оцінка середнього значення магнітної індукції, n - число тактів в одному циклі методики.

I такт: $B_{cp} = B_1$;

II такт: $B_{cp} = \frac{B_1 t_1}{t_1} \rightarrow B_2$;

III такт: $B_{cp} = \frac{B_1 t_1 + B_2 t_2}{t_1 + t_2} \rightarrow B_3$;

IV такт: $B_{cp} = \frac{B_1 t_1 + B_2 t_2 + B_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3} \rightarrow B_4$;

V такт: $B_{cp} = \frac{B_1 t_1 + B_2 t_2 + B_3 t_3 + B_4 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \rightarrow B_5$;

...

n такт: $B_{cp} = \frac{B_1 t_1 + B_2 t_2 + \dots + B_{n-1} t_{n-1}}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \rightarrow B_n$.

Переваги використання в якості біотропного параметра середнього значення магнітної індукції:

- можливість простої та ефективної оптимізації лікувальної методики магнітотерапії;
- суттєвий вплив даного біотропного параметру на зміну фізіологічних показників людини;
- низька ймовірність негативного ефекту від корегування даного біотропного параметра.

Таким чином, розроблені за допомогою методу кластерного аналізу алгоритми оперативного керування МГА на основі аналізу фізіологічних показників пацієнта дозволяють підвищити результати лікування МП захворювань організму людини та можуть бути використані для створення нового покоління адаптивних апаратів магнітотерапії, які регулюють параметри лікувальної дії у відповідності з апіорними показниками пацієнта.

Інформаційні джерела

1. Улащик В.С. Биосинхронизированная физиотерапия: общие основы, использование, использование и перспективы развития. / В.С. Улащик // Здоровье.-2008, № 5.- С. 13-18.
2. 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. - 376с.
3. Прошин Е.М. Методы и технические средства оперативной диагностики и биотехнической обратной связи в комплексной хрономагнитотерапии / Е.М. Прошин, Е.М. Григорьев, С.Г. Гуржин, В.Г. Кряков, О.В. Кирьяков // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника.-2004, №7.- С. 19-25.
4. Патент на корисну модель № 88902 Україна, МПК А61Н 7 / 00, А61Н 23/00, А61Н 1/00. Автоматизований багатофункціональний апарат магнітофонотерапії / Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Рудик В.Ю.; Кирилова А.В. заявник та патентовласник НТУУ "КПІ". - № u 201310307; заявл. 21.08.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. №7.