

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Делавар-Касмаї Мохаммад



УДК 615.84:615.472.03:615.847.8

**СИСТЕМА АДАПТИВНОЇ МАГНІТОТЕРАПІЇ
З ПУЛЬСОМЕТРИЧНИМ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біомедичної інженерії в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

Шликів Владислав Валентинович,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»),
доцент кафедри біомедичної інженерії.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор

Злепко Сергій Макарович,

Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри біомедичної інженерії,

– доктор технічних наук, професор

Манойлов В'ячеслав Пилипович,

Житомирський Державний технологічний університет,
завідувач кафедри радіотехніки і телекомунікацій.

Захист відбудеться “ 16 ” травня 2017 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.19 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37, корп. 12, ауд. 412.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “ ” квітня 2017 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради



В.Б. Швайченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Серед засобів магнітотерапії перспективним напрямком є розвиток методів адаптивної магнітотерапії заснованих на інтегральній оцінці фізіологічних параметрів систем організму під дією магнітного поля. Засоби неінвазивної оцінки функціонального стану людини в процесі виконання нею професійних дій становлять важливу частину апаратури адаптивної фізіотерапії та моніторингу стану здоров'я, різного роду патологій, особливо на ранніх стадіях їхнього розвитку. Виявлені феномени залежності лікувального ефекту від параметрів електромагнітного поля (частотний склад сигналів, амплітудне значення індукції, тривалість лікувального сеансу) описані в роботах учених (Ю.А. Холодов, А.М. Демецький, Н.А. Темур'янц, В.Р. Еді, Р. Фоль, Ш. Брюгеманн). Реалізація цих залежностей дозволяє виконати корекцію функціонального стану серцево-судинної системи, що враховує індивідуальні фізіологічні параметри пацієнта.

Оснащення систем магнітотерапії засобами зворотного зв'язку у вигляді сукупності сигналів, які надходять від пацієнта, дає можливість, виходячи з визначення біологічного зворотного зв'язку (Ф. Морель), встановлювати параметри діючого магнітного поля залежно від результатів діагностики та інформації про захворювання серцево-судинної системи. Зворотний зв'язок у вигляді сукупності сигналів, які знімаються з датчиків, закріплених на тілі пацієнта, дає можливість встановлювати параметри магнітотерапії перед початком лікувального сеансу й змінювати їх у процесі сеансу для досягнення максимального лікувального ефекту.

Тому **актуальною є задача** створення системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком на основі методів інтегральної оцінки функціонального стану людини, яка дозволяє здійснювати індивідуально орієнтований лікувальний вплив магнітним полем на пацієнта.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Обраний напрямок робіт узгоджується з основними науковими й навчальними інтересами кафедри біомедичної інженерії «КПІ імені Ігоря Сікорського». Робота виконана в рамках НДР д/б №2269 (№ ДР 0198U001330) “Дослідження та теоретичне обґрунтування методів та засобів адаптивної магнітолазеротерапії”, в якій дисертант брав участь у постановці завдання, створенні програм розрахунку, виконав аналіз ефектів спільного впливу магніто-лазерного випромінювання, брав участь у клінічній апробації системи оцінки функціонального стану людини. Результати роботи впроваджені в НДР д/б №2318-ф (№ ДР 0110U001467) “Дослідження динамічних властивостей та адаптаційних резервів системи кровообігу людини та розробка критеріїв їх оцінки із застосуванням математичного моделювання”, в якій дисертант брав участь у постановці завдання, створенні програмних алгоритмів на основі математичного моделювання динамічних властивостей системи кровообігу. Результати роботи використані в НДР №2986-ф (№ ДР 0106U002601) “Дослідження вікових та адаптаційних особливостей параметрів пульсових хвиль та кількісної еритмометрії людини”, в якій дисертант брав участь у постановці завдання, створенні програмних алгоритмів кількісної еритмометрії

та визначення параметрів пульсових хвиль. Результати дисертації знайшли застосування в навчальному процесі кафедри біомедичної інженерії, що підтверджується актом впровадження, в якому відзначена наукова новизна і відповідність роботи одному з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні.

Мета дослідження – розширення функціональних можливостей систем адаптивної магнітотерапії шляхом удосконалення методів адаптивної магнітотерапії і корекції функціонального стану пацієнта для створення на цій засаді систем адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком і підвищеними функціональними характеристиками, що як наслідок дозволить підвищити ефективність засобів магнітотерапії для здійснення індивідуально орієнтованого лікувального впливу магнітним полем (МП).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **наукові завдання**:

1. Дослідити методи виділення діагностичної інформації з сигналів біологічного зворотного зв'язку, яку можна використовувати в нейронних мережах (НМ) для розпізнавання функціональних станів пацієнта;
2. Удосконалити метод реалізації біологічного зворотного зв'язку для адаптивної магнітотерапії на підставі оцінки функціонального стану судин;
3. Розробити метод кількісної оцінки ефекту впливу магнітного поля в залежності від зміни функціонального стану пацієнта при комплексному лікуванні МП;
4. Дослідити технічні критерії для розробки структури системи адаптивної магнітотерапії з біологічним зворотним зв'язком для виконання корекції функціонального стану пацієнта;
5. Розробити програмні засоби формування та контролю параметрів магнітного поля, в тому числі алгоритмів розпізнавання і виділення діагностичної інформації з сигналу біологічного зворотного зв'язку;
6. Розробити метод обчислення параметрів сигналу магнітного поля з використанням кількісного показника функціонального стану пацієнта для корекції характеристик впливу;
7. Створити технічні засоби реєстрації та корекції сигналів біологічного зворотного зв'язку, синтезу форми сигналів магнітного поля;
8. Дослідити ефективність магнітотерапії при проведенні клінічної апробації експериментального зразка системи адаптивної магнітотерапії та корекції функціонального стану пацієнта.

Об'єктом дослідження є процес магнітотерапії із застосуванням зворотного біологічного зв'язку, зокрема в системах діагностики захворювань серцево-судинної системи за допомогою алгоритмів кількісної оцінки функціонального стану з використанням гармонійного аналізу сигналів пульсової хвилі (ПХ) і нейронних мереж, корекції функціонального стану за допомогою впливу низькоінтенсивним електромагнітним полем при комплексному лікуванні хворих.

Предметом дослідження є методи і засоби адаптивної магнітотерапії з біологічним зворотнім зв'язком, які застосовуються при комплексному

лікуванні хворих з судинними захворюваннями.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань використаний апарат електродинаміки, теорії перетворення сигналів, методів цифрової обробки сигналів, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії побудови й навчання нейронних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Удосконалено метод адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком, який заснований на аналізі гармонічного складу пульсових хвиль і, на відміну від існуючих, враховує їх форму за допомогою розпізнавання сигналів нейронною мережею, на входи якої подаються коефіцієнти ряду Фур'є, що дозволяє синтезувати сигнал магнітного поля, який адаптований до пацієнта та підвищити ефективність магнітотерапії шляхом досягнення лікувального ефекту при зменшенні часу впливу магнітним полем до 30% від числа процедур.
2. Запропоновано метод кількісної оцінки ефекту впливу магнітного поля на основі обчислення нормованого амплітудно-фазового коефіцієнта форми, що отриманий шляхом гармонічного аналізу сигналу пульсової хвилі та дозволяє налаштувати параметри сигналу магнітного поля, який адаптований до пацієнта.
3. Розроблено метод обчислення параметрів сигналу магнітного поля з використанням біорезонансних частот пацієнта, який відрізняється від існуючих тим, що частотний діапазон впливу магнітним полем обчислюються за спектром Фур'є сигналу пульсової хвилі та дозволяє визначити форму сигналу магнітного поля, яка відповідає певному функціональному стану пацієнта.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. Розроблено алгоритм формування сигналу магнітного поля і адаптації його впливу на пацієнта, що реалізований на основі використання біорезонансних частот і перетворення гармонічного складу пульсової хвилі в гармонічний склад сигналу магнітного поля, вплив якого має лікувальну дію на серцево-судинну систему пацієнта.
2. Розроблено алгоритм навчання нейронної мережі, розпізнавання і виділення діагностичної інформації із сигналу пульсової хвилі, відповідно до якого на входи нейронної мережі подаються коефіцієнти ряду Фур'є, обчислені для сигналу пульсової хвилі до впливу і в процесі терапії магнітним полем, що дозволяє визначити необхідність проведення магнітотерапії.
3. Запропоновано структуру системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком, що полягає у формуванні адаптованого до пацієнта сигналу магнітного поля і дозволяє використовувати для реалізації зворотного біотехнічного зв'язку сигнали пульсової хвилі та електрокардіограми, які містять діагностичну інформацію, достатню для оцінки функціонального стану серцево-судинної системи пацієнта.
4. Створено експериментальний зразок системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком з розширеними функціональними характеристиками, які забезпечуються засобами інтегральної оцінки

функціонального стану людини, що дозволяє за допомогою впливу низькоінтенсивним магнітним полем здійснювати корекцію функціонального стану пацієнта і підвищити ефективність лікувального впливу магнітним полем.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, які опубліковані в співавторстві, здобувачу належать постановка задач, розробка методів, проведення клінічних досліджень, систематизований аналіз результатів. В патенті [30] здійснив розробку формули винаходу і виконав патентні дослідження.

Апробація результатів дисертації. Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень були представлені та обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми фізичної та біомедичної електроніки», м. Київ, 1-3 червня 1999 р., 13-15 червня 2000 р.; «Проблеми електроніки», м. Київ, 12-14 червня 2001 р.; Міжнародних симпозіумах «Актуальні проблеми біофізичної медицини», м. Київ, 17-19 травня 2000 р., 13-16 травня 2002 р.; Міжнародних науково-практичних конференціях «Застосування лазерів у медицині та біології», м. Ялта, 22-25 жовтня 2002 р.; «Інформотерапія: теоретичні аспекти та практичне застосування», м. Київ, 2010; VI, VII і VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Приладобудування 2007: стан і перспективи», м. Київ, 2007 р., 2008 р., 2009; Proceedings of International Scientific – Practical conference «Virtual instruments in biomedicine 2009», Klaipeda, 2009 р.; II Міжнародній конференції «Біомедицина інженерія і технології», 17-18 березня, м. Київ, 2011; IV Міжнародному медичному форумі «Міжнародний медичний конгрес», м. Київ, 16 – 19 квітня 2013 р.; 23-ій Міжнародній Кримській конференції «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастопольский НТУ, 8 – 14 вересня 2013 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 30 наукових праць, у тому числі 16 статей у наукових фахових виданнях, з них 1 у закордонному фаховому виданні, що включено до наукометричних баз даних, і 13 – доповіді в збірниках матеріалів міжнародних конференцій, а також 1 – патент на винахід.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів і заключної частини з висновками. Робота містить 183 сторінки, 51 рисунок, 9 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 141 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність та стан наукової проблеми, показана її значимість та актуальність для вирішення проблем діагностики захворювань серцево-судинної системи та функціонального стану людини. Викладено головну мету роботи, задачі, що вирішуються для її досягнення. Надано відомості про апробацію результатів, публікації у наукових виданнях, впровадження результатів дисертації.

У першому розділі «Аналіз методів і систем адаптивної магнітотерапії із

засобами корекції функціонального стану” розглядаються основні напрямки розвитку засобів оперативної корекції функціонального стану людини, проводиться огляд методів експрес-діагностики, що застосовуються у клінічній діагностиці функціонального стану людини. На основі порівняльної оцінки ефективності методів корекції й експрес-діагностики визначаються основні інструментальні методи дослідження для моніторингу стану пацієнта, а також методи терапевтичного впливу в системах зі зворотним зв'язком.

Аналіз методів пульсової діагностики і фізіологічних показників пацієнта дозволив зробити висновок, що для реалізації біологічного зворотного зв'язку неінвазивними засобами найбільш інформативним і придатним є сигнал ПХ, що дозволяє реалізувати систему експрес-діагностики.

Таким чином, для реалізації системи адаптивної магнітотерапії необхідно:

- визначити метод об'єктивної оцінки функціонального стану пацієнта, який необхідний для реалізації ефективного каналу зворотного зв'язку;
- дослідити методи обробки і аналізу діагностичної інформації, що дозволяють обчислювати кількісний показник функціонального стану пацієнта;
- реалізувати метод кількісної оцінки ефекту впливу на пацієнта, що дозволяє вибирати найбільш ефективну схему лікування;
- розробити метод обчислення параметрів сигналу магнітного поля з використанням кількісного показника функціонального стану пацієнта;
- розробити програмні засоби формування і контролю параметрів впливу для корекції функціонального стану людини;
- розробити технічні засоби формування і контролю параметрів терапевтичного впливу на людину;
- провести клінічну апробацію розробленого методу експрес-діагностики та корекції функціонального стану людини.

У другому розділі “Розробка методів оцінки функціонального стану пацієнта для реалізації ефективного каналу зворотного зв'язку” проводиться обґрунтування медико-технічних вимог до апаратних і програмних засобів системи адаптивної магнітотерапії та корекції функціонального стану пацієнта. Завдання побудови системи вирішується за рахунок використання технологій розпізнавання сигналів нейронною мережею (НМ) та програмно-апаратними засобами мікроконтролерної системи (МК) і персонального комп'ютера (ПК).

Для виділення діагностичної інформації із сигналу артеріальної пульсової хвилі пропонується метод розпізнавання заданих класів функціональних станів, яким навчена нейронна мережа, шляхом установлення відповідності між входом мережі – коефіцієнтами ряду Фур'є, і виходом мережі – числовими значеннями, які відповідають номеру класу (стану). Завдання розпізнавання класів вирішується за допомогою односпрямованої, багат шарової нейронної мережі, що навчається по алгоритму зворотного поширення і має логістичну функцію активації внутрішніх шарів нейронів. Структура входів нейронної мережі, що реалізована за запропонованою методикою розпізнавання діагностичної інформації, має наступну конфігурацію: кількість входів нейронної мережі – 13, з яких 6 входів – значення амплітуд, 6 входів – значення

фаз, 1 вхід – частота серцебиття.

Функція градієнта помилки спроектованої багат шарової НМ розраховується в загальному випадку по формулі:

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = -[d_j(n) - y_j(n)]y_j^2(n)[1 - y_j(n)], \quad (1)$$

де j – вихідний нейрон в мережі,

$w_{ji}(n)$ – ваговий коефіцієнт, що з'єднує вихід нейрона з i - шару із входом нейрона з j - шару нейронної мережі,

$y_j(n)$ – сигнали, отримані на виході нейронної мережі,

$d_j(n)$ – очікувані сигнали, визначені в процесі навчання.

Середньоквадратична помилка залежить від кількості шарів НМ. Щоб встановити, яка кількість шарів НМ при виборі методу навчання є достатньою, виконана порівняльна оцінка часу навчання НМ із декількома схованими

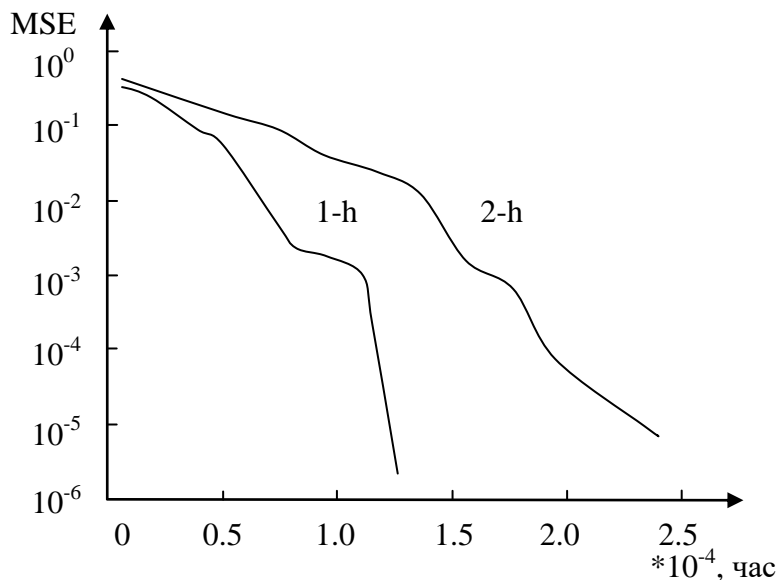


Рис. 1. Зміна середньоквадратичної помилки від кількості шарів НМ:

шарами. Графік зміни середньоквадратичної помилки (MSE) від кількості схованих шарів у структурі нейронної мережі представлений на рис. 1.

Для реалізації методу розпізнавання діагностичної інформації обрана мережа з одним схованим шаром, що навчається методом зворотного поширення помилки в сполученні з алгоритмом оптимізації Полак-Раєбаєра (CGP).

Серед фізичних законів, які дозволяють сформувати сигнал, що забезпечує лікувальну дію, можна виділити метод "біорезонансної терапії". Сутність методу полягає в тому, що сигнали, які знімають з пацієнта, перетворюються електронною схемою в терапевтичний сигнал, спектр якого є інверсією спектра "власних коливань" пацієнта. Математично ПХ може бути розділена на фундаментальний компонент і кратні гармоніки (табл. 1).

Таблиця 1.

Гармоніка	1	2	3	4	5	6
-----------	---	---	---	---	---	---

Внесок гармоніки, %	100	63,2	29,6	22,2	14,8	11,8
---------------------	-----	------	------	------	------	------

Таким чином, використовуючи фізичні закони, образ сигналу, що дозволяє виконати корекцію функціонального стану пацієнта, можна представити через образ довільного сигналу ПХ або образи інших сигналів, які використовуються для реалізації каналу зворотного зв'язку. Завдання формування сигналу МП, що має лікувальною дією, вирішується на основі формування математичного образу сигналу, що представляється у вигляді кратних гармонік та розраховується за коефіцієнтами ряду Фур'є сигналу ПХ.

Завдання розробки системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком вирішується шляхом комбінації декількох систем: експертної діагностичної системи та пристрою магнітотерапії.

Функції системи експрес-діагностики можуть додаватися поступово відповідно до потреб замовника або користувача. В економічному плані це означає, що в початковий базис для навчання системи можна спочатку вкласти обмежену кількість первинних діагностичних образів сигналів ПХ.

У третьому розділі “Програмні засоби формування і контролю параметрів дії магнітного поля для корекції функціонального стану людини” запропоновано спосіб цифрової обробки вимірюваного сигналу ПХ для відновлення часової функції сигналу зворотного зв'язку, корекцію амплітудно-і фазочастотних спотворень сигналів ПХ, високочастотну фільтрацію завад, програмний алгоритм формування і контролю параметрів МП та спосіб класифікації функціонального стану пацієнта за допомогою розпізнавання сигналів НМ.

Корекція амплітудно- і фазочастотних спотворень, внесених реактивними і частотно-залежними елементами схеми забезпечує неспотворене відтворення форми сигналу ПХ із використанням давачів і електронних підсилювачів, що мають відомі амплітудно- і фазочастотні характеристики. Для заданої АЧХ $K_U(\omega)$ і ФЧХ $\varphi(\omega)$ каналу виміру ПХ, корегуючі АЧХ і ФЧХ визначають виразом:

$$K_{кор}(nf_0) = \frac{K}{K_u(nf_0)}, \quad (2)$$

$$\varphi_{кор}(nf_0) = -\varphi(nf_0), \quad (3)$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$ номер гармоніки, f_0 - частота основної гармоніки сигналу ПХ, K – коефіцієнт передачі ПХ підсилюючо-перетворюючого тракту після корекції, K_u – необхідний коефіцієнт передачі ПХ підсилюючо-перетворюючого тракту.

Корекція коефіцієнтів ряду Фур'є дозволяє одержати необхідну точність відновлення функції ПХ обмежившись тільки 6–9 гармонічними складовими ряду Фур'є.

Для комп'ютерної обробки сигналу ПХ, що реєструється з використанням тензодатчика (Д), пропонується наступна реалізація структури підсистеми (рис. 2). Екстриматор (ЕКС) використовується для одержання максимальної амплітуди ПХ за рахунок створення оптимального тиску в манжеті. Високочастотна

фільтрація завад забезпечена програмно-апаратним фільтром нижніх частот (ФНЧ) на виході підсилювача (ПНЧ) рис. 2.

Навчання системи експрес-діагностики припускає віднесення сигналу ПХ до одного із двох класів – C_1 або C_2 . Клас C_1 характеризується стабільним або сталим функціональним станом пацієнта під дією МП. Клас C_2 відповідає достовірним змінам параметрів сигналу ПХ під дією на пацієнта МП. Рішення про приналежності вектора \vec{x} , що містить параметри сигналу ПХ, до одного із класів приймається залежно від результатів порівняння: якщо відношення правдоподібності більше заданого порога $\lambda > S$, то вважають, що $\vec{x} \in C_1$, а якщо $\lambda \leq S$, то $\vec{x} \in C_2$. Відношення правдоподібності λ обчислюється по формулі:

$$\lambda = \frac{p(\vec{x}/C_1)}{p(\vec{x}/C_2)} > \frac{p(C_2)}{p(C_1)}, \quad (4)$$

де $p(C_i)$ – умовна ймовірність визначення класу C_i ,

$p(\vec{x}/C_i)$ – умовна ймовірність одержання вектора \vec{x} ,

\vec{x} – вектор вимірів $\vec{x} = \{1, x_1, x_2, \dots, x_n\}$, що містить параметри ПХ.

Метод обчислення параметрів сигналу МП на основі гармонійного складу сигналу ПХ містить наступні процедури:

1. Сигнал ПХ представляється безперервним сигналом $U(t)$ з постійним кроком дискретизації ΔT :

$$U(t) = \sum_{n=0}^N \left(a_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T_0} t\right) + b_n \sin\left(n \frac{2\pi}{T_0} t\right) \right), \quad (5)$$

$\Delta T = \frac{T_0}{2N+1}$ – крок дискретизації сигналу ПХ із періодом T_0 .

2. Для сигналу ПХ з кроком дискретизації ΔT застосовується кінцеве розкладання в ряд Фур'є з коефіцієнтами a_k і b_k :

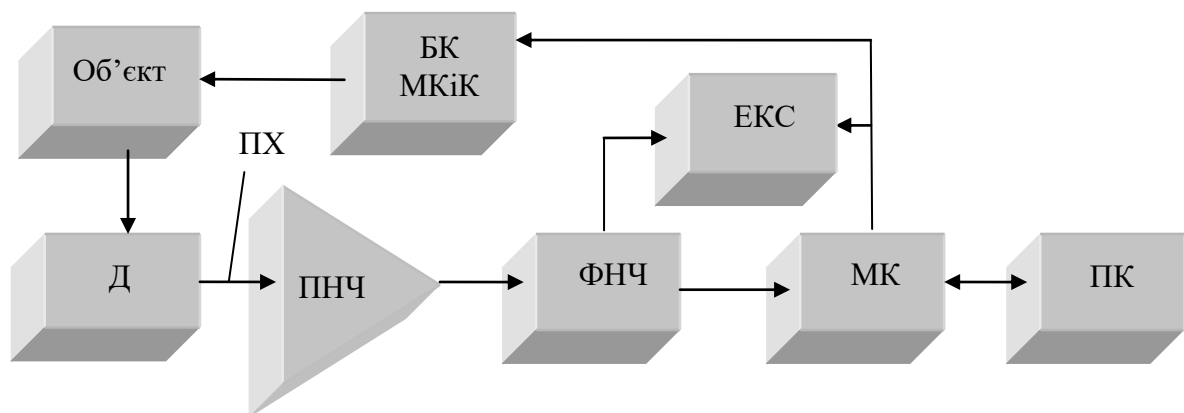


Рис. 2. Підсистема програмно-апаратної обробки сигналу ПХ: Д – тензодатчик, МК – мікроконтролер, ПНЧ – підсилювач низької частоти, ФНЧ – фільтр нижніх частот, ЕКС – екстриматор, БК МКіК – блок керування мікроконтролером і клапаном, ПК – персональний комп'ютер

$$a_0 = \frac{1}{2N+1} \cdot \sum_{k=0}^{2N} U(t)(k\Delta T), \quad (6)$$

$$a_k = \frac{2}{2N+1} \cdot \sum_{n=0}^{2N} U(t)(n\Delta T) \cos\left(k \cdot n \cdot \frac{2\pi}{2N+1}\right), \quad (7)$$

$$b_k = \frac{2}{2N+1} \cdot \sum_{n=0}^{2N} U(t)(n\Delta T) \sin\left(k \cdot n \cdot \frac{2\pi}{2N+1}\right), \quad (8)$$

$k = 1, \dots, N$ – число гармонік розкладання сигналу ПХ у ряд Фур'є.

3. Визначення набору коефіцієнтів a_n і b_n , які обчислюються як усередненні значення коефіцієнтів ряду Фур'є для ансамблю декількох сигналів ПХ:

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_n a_k, \quad b_n = \frac{1}{N} \sum_n b_k, \quad n \in k = 1, \dots, N, \quad (9)$$

n – номер гармоніки сигналу МП, що сформована.

4. По формулах ряду Фур'є обчислюються амплітуди $P_k(\omega)$ і фази $\varphi_k(\omega)$ гармонік сигналу ПХ, які визначаються за формулою:

$$P_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \varphi_n = \text{arctg}(b_n/a_n), \quad (10)$$

$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = 2\pi \cdot f_0$ – частота (f_0) і період (T_0) серцевих скорочень.

5. На основі коефіцієнтів a_n і b_n формується сигнал МП, що представляється безперервним сигналом $U''(t)$ з постійним кроком дискретизації ΔT , рівним кроком дискретизації сигналу ПХ:

$$U''(t) = \sum_{k=0}^N \left(a_n \cos\left(k \frac{2\pi}{T_0} t\right) + b_n \sin\left(k \frac{2\pi}{T_0} t\right) \right). \quad (11)$$

Алгоритм амплітудної корекції гармонійного складу сигналу ПХ містить наступні процедури:

1. Визначаються кілька частотних діапазонів у спектрі сигналу ПХ, центральні частоти для яких вибираються кратними основній гармоніці:

$$\omega_k = k \cdot \omega_0, \quad k = (m-2), \dots, (m+2), \quad (12)$$

ω_k – центральні частоти в частотних діапазонах сигналу ПХ,

N – число гармонік розкладання сигналу ПХ у ряд Фур'є,

m – ціле число частоти в одному з діапазонів, які визначені в спектральному аналізі ПХ: 1 - 3 Гц, 4 - 7 Гц, 8 - 13 Гц, 14 - 20 Гц, 21 - 30 Гц.

Центральна частота «трикутного» діапазону ω_k , який визначається лінійною функцією амплітуд, вибирається кратною частоті основної гармоніки сигналу ПХ і відповідає кордонам частотних діапазонів в спектральному аналізі ПХ: 4 - 10 Гц, який містить біорезонансні частоти органів в дослідженнях Р. Фоля.

2. Ширина частотного діапазону для корекції гармонійного складу сигналу ПХ визначається значеннями граничних частот $\omega_{(k, 1)}$ і $\omega_{(k, N)}$, які приймаються рівними частоті другої й останньої гармоніки:

$$\omega_{(k, 1)} = \omega_1, \omega_{(k, N)} = \omega_N. \quad (13)$$

Ширина діапазону або число гармонік визначаються кількістю інформативних компонент в спектрі сигналу ПХ (5 - 6 кратних гармонік розкладу ПХ в ряд Фур'є).

3. Амплітуда гармоніки на центральній частоті ω_k в обраному частотному діапазоні сигналу ПХ визначається максимальним значенням амплітуди основної гармоніки (рис. 3):

$A_k = a_{(k, \max)}$, $a_{(k, \max)}$ – максимальне значення амплітуди гармоніки в обраному частотному діапазоні в спектрі сигналу ПХ.

4. Амплітуди гармонік на кордонах «трикутного» діапазону визначаються мінімальною амплітудою в обраному частотному діапазоні сигналу ПХ:

$$A_{k-1} = A_{k+1} = 0.5 \cdot [a_{(k, \min)} + a_{(k, \max)}], \quad (14)$$

де $a_{(k, \min)}$, $a_{(k, \max)}$ – мінімальне і максимальне значення амплітуди гармоніки в обраному частотному діапазоні в спектрі сигналу ПХ.

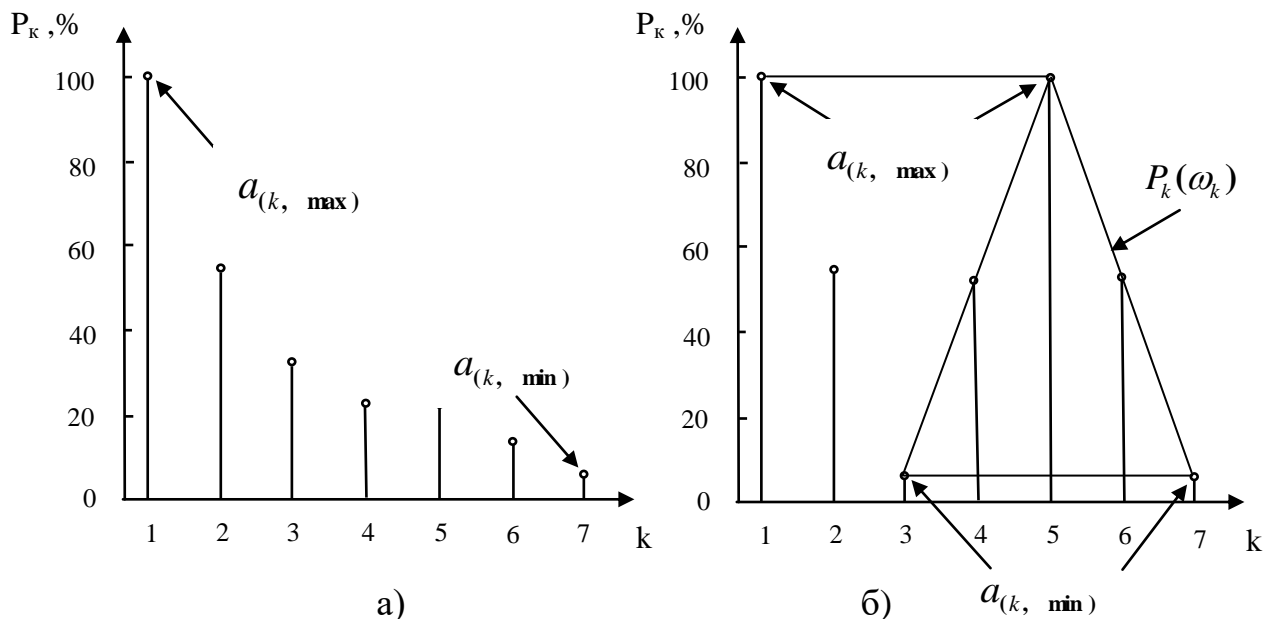


Рис. 3. а). Амплітуди гармонік розкладу сигналу ПХ в ряд Фур'є, б). Формування частотного діапазону для центральної гармоніки $k = 5$ з використанням лінійної функцією $P_k(\omega_k)$.

5. Визначається алгоритм зменшення амплітуд гармонік ліворуч і праворуч від центральної гармоніки для кожного із частотних діапазонів у спектрі сигналу ПХ.

Закон зменшення амплітуд гармонік приймається лінійною функцією $P_k(\omega_k)$, максимальне значення якої відповідає значенню амплітуди основної гармоніки:

$$P_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}, \varphi_1 = \arctg(b_1/a_1). \quad (15)$$

Мінімальне значення лінійної функції зміни амплітуд гармонік відповідає гармоніці з найменшою амплітудою в спектрі сигналу ПХ:

$$P_{(k, \min)} = \sqrt{a_{(k, \min)}^2 + b_{(k, \min)}^2}, \varphi_{(k, \min)} = \arctg \left[\frac{b_{(k, \min)}}{a_{(k, \min)}} \right]. \quad (16)$$

6. Вплив виконується по черзі сигналами МП, спектр яких формується для декількох частотних діапазонів, що мають центральні частоти кратні основній гармоніці сигналу ПХ.

Для тривалого впливу вибирається спектр сигналу МП, що має максимальну відносну зміну амплітуди гармоніки на певній центральній частоті в обраному частотному діапазоні сигналу ПХ: $A_k \rightarrow a_{(k, \max)}$.

7. Тривалість впливу оцінюється за величиною зменшення амплітуди основної гармоніки від максимального значення до значення при якому потужність в спектрі сигналу ПХ зменшується в $\sqrt{2}$ - раз: $A_k \rightarrow A_{(k, \max)}/\sqrt{2}$.

8. Вплив МП припиняється, коли відносна зміна амплітуди гармоніки на певній центральній частоті в обраному частотному діапазоні зменшується до мінімального значення обчисленого для інших частотних діапазонів у спектрі сигналу ПХ: $A_k \rightarrow a_{(k, \min)}$.

Таким чином, форма сигналу МП представляє різницевий сигнал ПХ до впливу МП та у процесі терапії МП, який відповідає класам C_1 й C_2 , відповідно.

Для аналізу варіабельності серцевого ритму (ВСР) ритмограма у вигляді послідовності R-R інтервалів представляється в частотній області спектром частот у вигляді піків різної амплітуди в чотирьох діапазонах частот: HF – від 0,4 до 0,15 Гц, LF – від 0,15 до 0,04 Гц, VLF – від 0,04 до 0,0033 Гц, ULF – від 0,0033 до 0 Гц. Використання методу спектрального аналізу ВСР у процесі реєстрації сигналів ПХ дозволяє врахувати варіабельність частоти основної гармоніки сигналу і сумарний ефект впливу МП на серцевий ритм. Структура алгоритму, що пояснює спосіб уточнення змін функціонального стану пацієнта представлена на рис. 4.

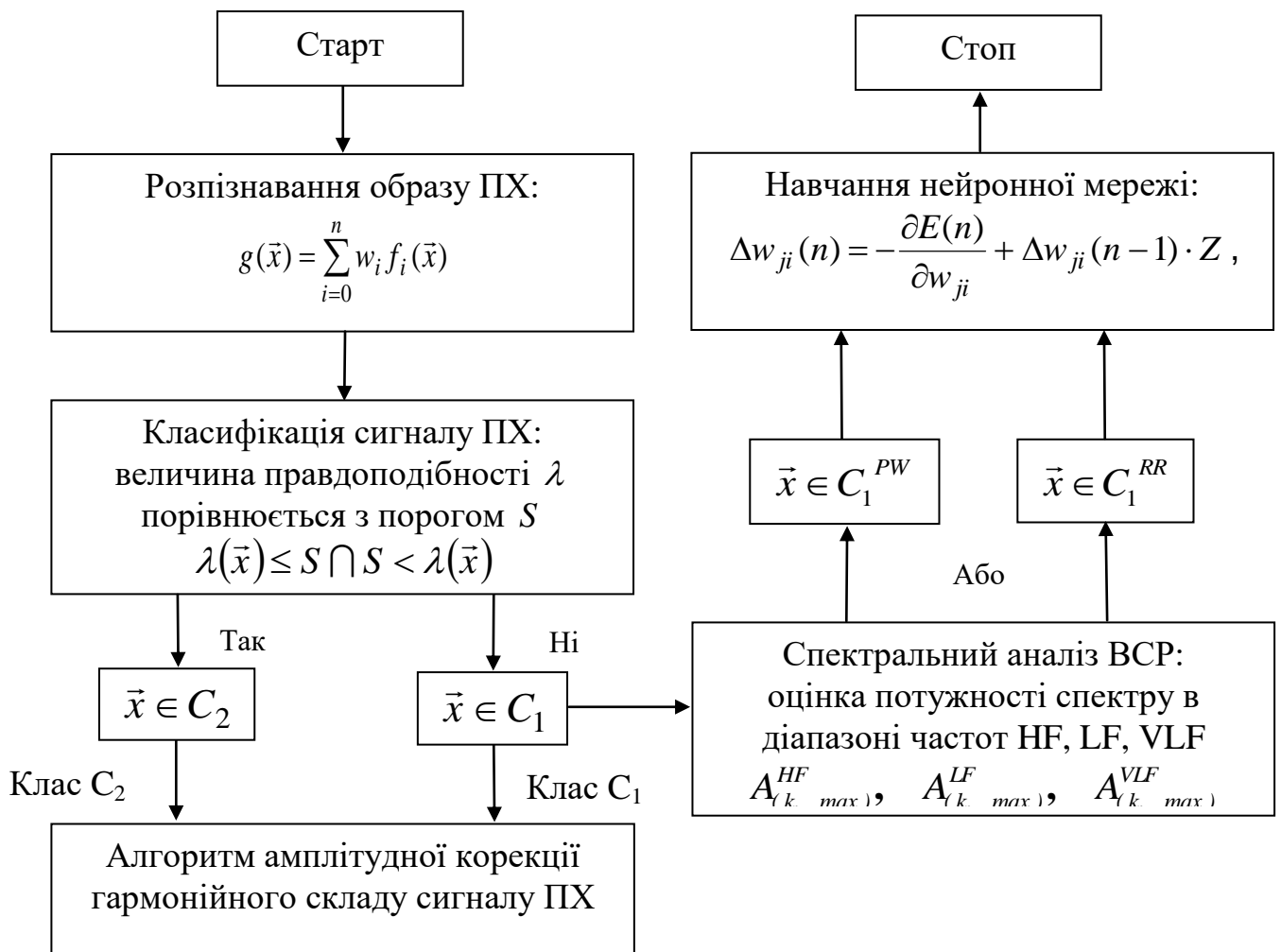


Рис. 4. Структура алгоритму, що пояснює спосіб уточнення змін функціонального стану пацієнта.

У даному алгоритмі клас C_1 характеризується сталим функціональним станом пацієнта під дією МП. Клас C_1^{PW} відповідає достовірним змінам параметрів сигналу ПХ під дією на пацієнта МП, а клас C_1^{RR} – достовірним змінам параметрів сигналу ПХ і певному рівню регуляції серцевого ритму. Клас C_1^{RR} характеризує сумарний ефект впливу на серцевий ритм всіх рівнів регуляції серцево-судинної системи під дією на пацієнта МП.

Використання методів цифрової обробки сигналів ПХ для задач діагностики і терапії МП з біологічним зворотним зв'язком дозволяє зробити висновки:

- застосування програмної корекції дозволяє зменшити спотворення амплітудно- і фазочастотної характеристики попередніх підсилювачів і зменшити похибку вимірювання сигналів біологічного зворотного зв'язку до 2% ;

- метод перетворення гармонійного складу сигналів ПХ у гармонійний склад сигналів МП, що включає обчислення спектру амплітуд гармонік сигналу, який являє собою різницю сигналів ПХ до дії та в процесі дії МП, дозволяє сформулювати для кожного пацієнта найбільш ефективно впливаючий гармонійний склад МП;

– удосконалено метод адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком, що ґрунтується на аналізі гармонічного складу ПХ в декількох частотних діапазонах, центральні частоти яких обираються кратними основній гармоніці сигналу ПХ, і який, на відміну від існуючих, враховує їх форму за допомогою розпізнавання сигналів ПХ нейронною мережею та дозволяє синтезувати сигнал магнітного поля, який адаптований до пацієнта.

У четвертому розділі “Апаратні засоби системи експрес-діагностики і корекції функціонального стану людини” розглянуто розроблені схеми реєстрації сигналу біологічного зворотного зв'язку із використанням тензодатчика і оптоелектронного датчика, схеми формування сигналів МП на основі мікроконтролерної системи та високоефективного імпульсного підсилювача струму індукторів апарату терапії МП, що дозволяють реалізувати в реальному часі оцінку функціонального стану за параметрами ПХ і забезпечити ефективне керування системою адаптивної магнітотерапії.

Для реєстрації пульсацій кров'яного тиску в сегменті кінцівки за допомогою манжети і тензометричного датчика використовується осцилометричний метод виміру. Схема електрична принципова попереднього підсилювача і фільтрації сигналу ПХ на основі тензодатчика представлена на рисунку 5.

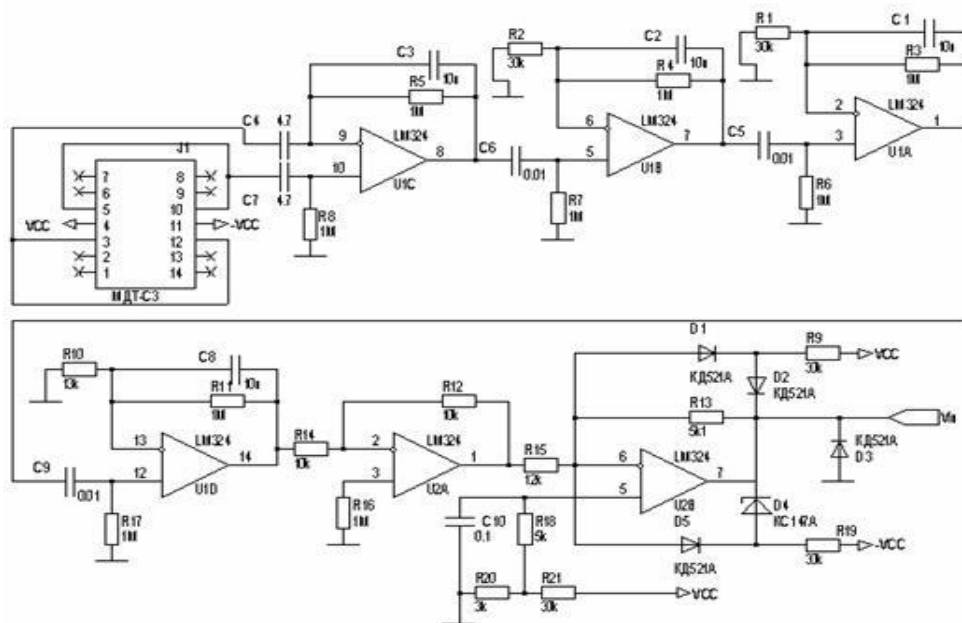


Рис. 5. Схема електрична принципова попереднього підсилювача ПХ

В умовах рухової активності людини в процесі виконання професійних завдань (водії, пілоти, оператори, диспетчери й т.д.) передбачена можливість використання оптичного датчика для вимірювання сигналу ПХ. Захист від сторонніх перешкод реалізований шляхом введення амплітудної модуляції з несучою частотою корисного сигналу та наступною демодуляцією сигналу.

У запропонованій схемі, на відміну від відомих конструкцій, випромінюючі світлодіоди живляться не постійним струмом, а прямокутними імпульсами у формі меандру. Точність відтворення сигналу ПХ оцінювалась вираженням, значення якого представляє відносну середньоквадратичну помилку, що обчислюється у відсотках:

$$\varepsilon = \sqrt{\int_0^T [F_{TEST}(t) - F_{OUT}(t)]^2 dt} / \sqrt{\int_0^T [F_{TEST}(t)]^2 dt} \cdot 100\% , \quad (17)$$

де $F_{TEST}(t)$ – тестовий сигнал ПХ на вході аналізованої схеми,
 $F_{OUT}(t)$ – сигнал ПХ на виході аналізованої схеми.

Зменшення похибки відтворення ПХ у каналі вимірювання до значення $\varepsilon_2 = 4.8\%$ досягнуто за рахунок виключення із тракту посилення сигналу реактивних і нелінійних компонентів.

Канал безперервної реєстрації R-R інтервалів електрокардіограми (ЕКГ) має параметри, які відповідають ЕКГ стаціонарного кардіографа за ГОСТ 19687-89: діапазон входних напруг 0,03 – 300 мВ, частота квантування 256/512/1024 Гц, верхня межа смуги пропускання 0 – 250 Гц, частота перетворення сигналу на вході 500 Гц, дискретність АЦП 24 розряди, рівень внутрішніх шумів, приведених до входу 20 мкВ, коефіцієнт ослаблення синфазних сигналів 100дБ.

Канал безперервної реєстрації R-R інтервалів реалізований на основі стандартної принципової схеми диференціального попереднього підсилювача для реєстрації сигналів ЕКГ.

У ключовому імпульсному підсилювачі струму індукторів (рис. 6) використовується властивість індуктивного навантаження накопичувати енергію МП у режимі імпульсного накачування й утримання впродовж квазіпостійного МП, що дозволяє при припустимих значеннях пульсацій МП зменшити потужність теплових втрат у силовій частині пристрою магнітотерапії в 5 – 10 разів у залежності від величини пульсацій.

Силу частину імпульсного підсилювача представляють ключові елементи К0, К1, К2, К3, керовані вихідними сигналами дешифратора DD1. Компаратори DA1, DA2 мають різні пороги чутливості і фіксують з необхідною точністю відповідність струму

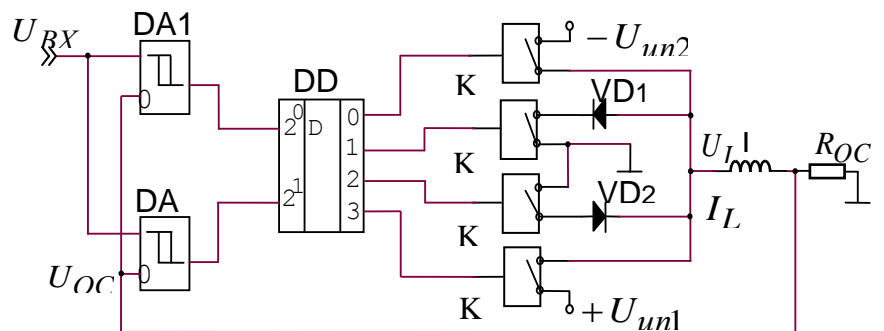


Рис. 6. Підсилювач струму індукторів

індуктора рівню входного сигналу. При цьому для формування в індукторі струму будь-якої заданої входним сигналом форми використовується метод кусочно-експоненціальної апроксимації з кроком, що відповідає припустимому відхиленню струму від необхідних значень.

Використання високоефективного імпульсного підсилювача і мікроконтролерної структури дозволяє:

- виконати сполучення апарату терапії МП і засобів реєстрації ПХ із комп'ютером на якому встановлено програмне забезпечення системи експрес-діагностики і корекції функціонального стану людини;
- зменшити потужність теплових втрат у силовій частині апаратів терапії МП,

що забезпечує істотне поліпшення масогабаритних параметрів терапевтичних приладів і зниження їхньої вартості;

– використати ресурс машинного часу для обробки параметрів ПХ, розпізнавання сигналу ПХ за допомогою НМ, і організації діалогового режиму лікаря з пацієнтом.

У п'ятому розділі “*Методи і система адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком*” описаний експериментальний зразок системи адаптивної магнітотерапії, наведені його технічні характеристики, які розширюють функціональні можливості системи і дозволяють підвищити ефективність магнітотерапії, представлена апаратна і програмна реалізація системи адаптивної магнітотерапії, наведені результати клінічної апробації і порівняльна оцінка ефективності адаптивної магнітотерапії.

Діалогова система забезпечує для лікаря: оперативність реєстрації сигналу ПХ, вірогідність і наочність одержаних оцінок (значень показників ПХ, ефективності лікування), формалізацію процедури анамнезу. Процедура анамнезу передбачає ведення електронної бази даних пацієнтів і дозволяє оцінити ефект післядії МП і доцільність подальшого терапевтичного лікування МП.

Клінічна апробація експериментального зразка системи магнітотерапії і апарату МС-92М для терапії МП проводилась у хірургічному відділенні клінічної лікарні №18 м. Києва на базі кафедри факультетської хірургії №1 Національного медичного університету при лікуванні хворих з різними захворюваннями.

Структура експериментальної системи адаптивної магнітотерапії із зворотнім зв'язком (АМТ) представлена на рисунку 7.

Відповідно до концепції побудови системи адаптивної магнітотерапії із зворотнім зв'язком для введення сигналів ПХ у комп'ютер використовується оптоелектронний датчик. Математичні алгоритми розпізнавання образів ПХ, аналізу відповідності форми сигналу заданим класам функціонального стану,

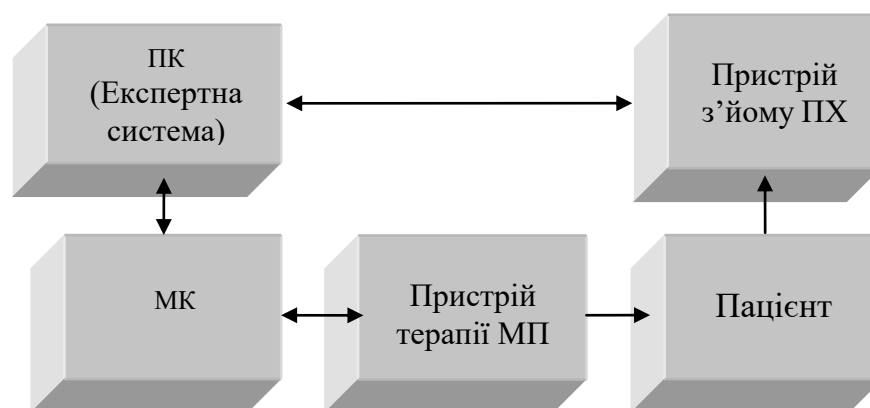


Рис. 7. Структура експериментальної системи АМТ

цифрової обробки сигналів ПХ реалізовані в програмному забезпеченні системи магнітотерапії, що встановлено на комп'ютер (ПК). Мікроконтролер (МК) керує процесом реєстрації сигналу ПХ і пристроєм терапії МП, що

містить імпульсний формувач струму індукторів.

Реалізована в АМТ експертна система контролює наступні параметри функціонування серцево-судинної системи: частота серцевих скорочень, зміна рівня артеріального тиску, частоту подиху. Нейронна мережа, що представляє багатошаровий односпрямований перцептрон (MLP-Multi-Layer Perseptron), навчена по алгоритму зворотного поширення (Back Propagation) і дозволяє розпізнавати і класифікувати сигнали ПХ із діагностичною вірогідністю 92 - 96%.

Результат комплексного лікування хірургічних хворих, при якому використовується алгоритм амплітудної корекції гармонійного складу сигналу ПХ, оцінювався по динаміці зміни вірогідності розпізнавання сигналу ПХ Q (рис. 8 а, б, в) залежно від кількості сеансів терапії N.

Зміну функціонального стану, що спостерігаються для кожної групи хворих можна умовно розділити на три види залежностей:

а) 30% - поліпшення функціонального стану;

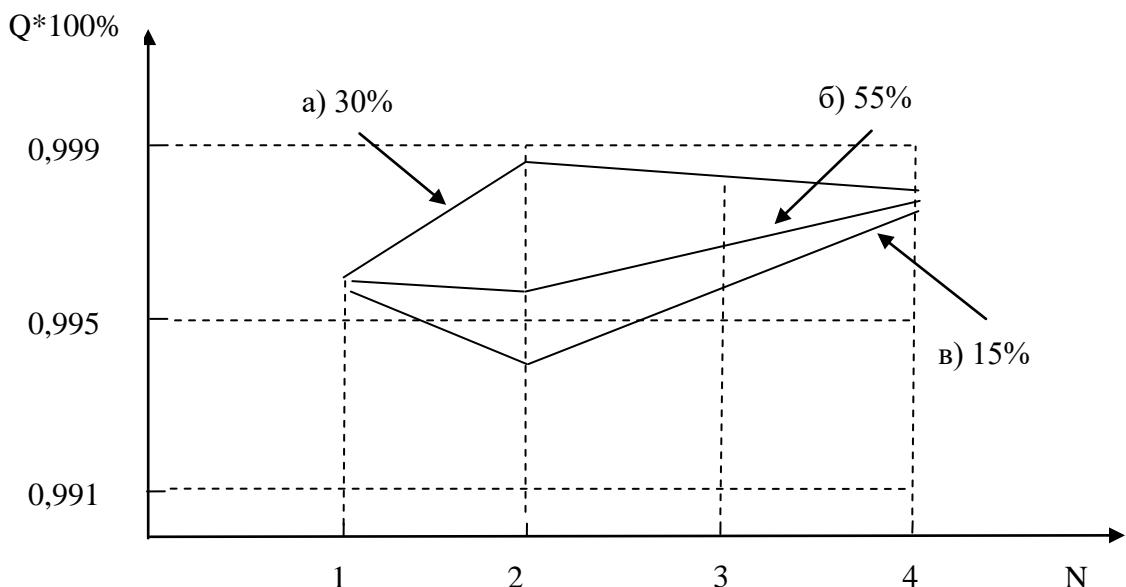


Рис. 8. Відносна зміна вірогідності розпізнавання ПХ

б) 55% - без змін на початку і поліпшення функціонального стану наприкінці курсу терапії МП;

в) 15% - деяке відхилення від вихідного значення на початку і наприкінці курсу терапії МП.

За допомогою реалізованих у АМТ алгоритмів діагностики встановлені наступні закономірності, які є загальними для всіх пацієнтів:

1. Установлено загальне поліпшення імунітету пацієнтів;
2. Установлено поліпшення стану серцево-судинної системи, при цьому після 5-го сеансу було відзначено одночасне погіршення стану цих систем, яке змінилось поліпшенням після 12 й 13-го сеансів.

Оцінка ефективності методу корекції функціонального стану хворих із гнійними ранами, яким проводилося комплексне лікування із застосуванням МП, виконується шляхом аналізу динаміки зміни нормованого амплітудно-фазового коефіцієнта (НАФК) $K(n)$ у процесі терапії.

Алгоритм обчислення амплітудно-фазового коефіцієнта $K(n)$ включає

наступні етапи:

1. З розподілу фаз $\varphi(f)$ сигналу ПХ обчислюється функція виду:

$$\Omega(i) = \frac{\sin(2\pi \cdot f_0 \cdot \delta(t) + \varphi(i))}{2\pi \cdot f_0 \cdot \delta(t) + \varphi(i)}, \quad (18)$$

де f_0 – частота основної гармоніки розкладання сигналу ПХ у ряд Фур'є,
 $\delta(t)$ – строб-імпульс часу тривалістю $\delta(t) = 1.5 \cdot T$, де $t \in (T, 2 \cdot T)$,
 T – період сигналу ПХ при розкладанні в ряд Фур'є,
 $\varphi(i)$ – значення фази i -ої гармоніки сигналу ПХ.

2. З розподілу амплітуд $A(f)$ сигналу ПХ обчислюються нормовані функції:

$$K^+(n) = \frac{1}{A_0} \sum_i A(i), \quad \Omega(i) \geq 0, \quad K^-(n) = \frac{1}{A_0} \sum_i A(i), \quad \Omega(i) < 0, \quad (19)$$

де A_0 – амплітуда основної гармоніки розкладання сигналу ПХ у ряд Фур'є,
 $K^+(n)$ – нормований амплітудно-фазовий коефіцієнт, що відповідає позитивному “набігу” фаз у функції $\Omega(i) \geq 0$,
 $K^-(n)$ – нормований амплітудно-фазовий коефіцієнт, що відповідає негативному “набігу” фаз у функції $\Omega(i) < 0$,
 $n = 1, \dots, N$ – номер процедури впливу МП.

3. Для кожної n -ої процедури впливу МП обчислюється нормований амплітудно-фазовий коефіцієнт $K(n)$:

$$K(n) = \frac{\sqrt{K^{2+}(n) + K^{2-}(n)}}{1 + \sqrt{K^+(n) \cdot K^-(n)}}, \quad n = 1, \dots, N, \quad (20)$$

де N – кількість процедур терапії МП.

З метою аналізу впливу магнітного поля виконано обчислення НАФК для контрольної групи хворих (24 хворих) із захворюваннями серцево-судинної системи (з діагнозами АКМП, ГКМП, ДКМП, ФК-2, ФК-3, СН-2А, СН-2Б). В залежності від визначених діагнозів у кожному класі захворювань змінення значень НАФК знаходиться в діапазонів 0.05 – 0.15 від середнього значення в групі (табл. 2).

Таблиця 2.

Функціональні класи захворювань	Число хворих	Значення НАФК $K(n)$
ДКМП, ФК-2, ФК-3	10	$0.60 > K(n) > 0.55$
ГКМП, ФК-2, ФК-3, СН-2А, СН-2Б	7	$0.65 > K(n) > 0.55$
АКМП, Міокардит, ФК-2, ФК-3	7	$0.95 > K(n) > 0.85$

Розподіл хворих за діапазонами змінення значень НАФК для контрольної

групи хворих представлений на рисунку 9 (дисперсія вибірки $\sigma \leq 0,088$).

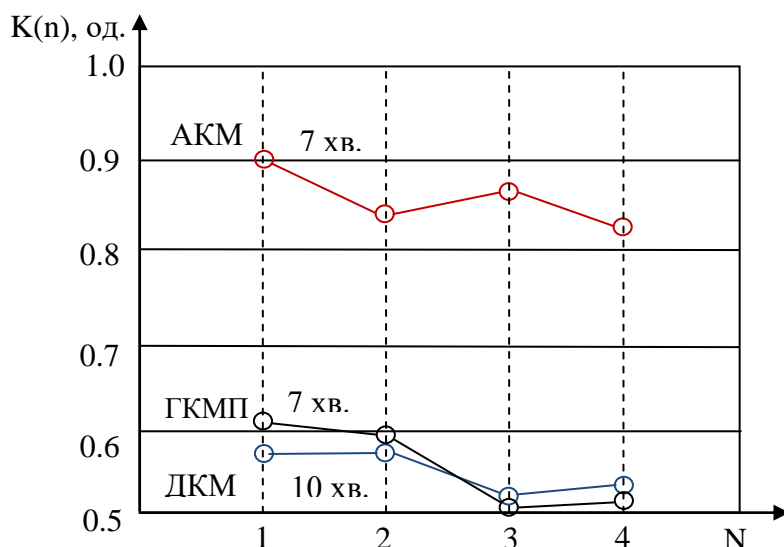


Рис. 9. Статистика змін НАФК $K(n)$ для контрольної групи

Стійка зміна і подальша стабілізація функціонального стану спостерігаються у 58.8 % хворих із гнійними ранами, що відповідає умові $K(n) < 0.55$ для НАФК. Це значення (58.8%) добре узгоджується з результатом аналізу динаміки зміни відносної помилки розпізнавання сигналу ПХ (55.0%), що отримана методом розпізнавання сигналу ПХ за допомогою НМ. Слід зазначити зменшення числа хворих від рівня 76.5% до 8.8%, для яких значення коефіцієнта $K(n) < 0.6$, що відповідає поліпшенню функціонального стану хворих (рис. 10).

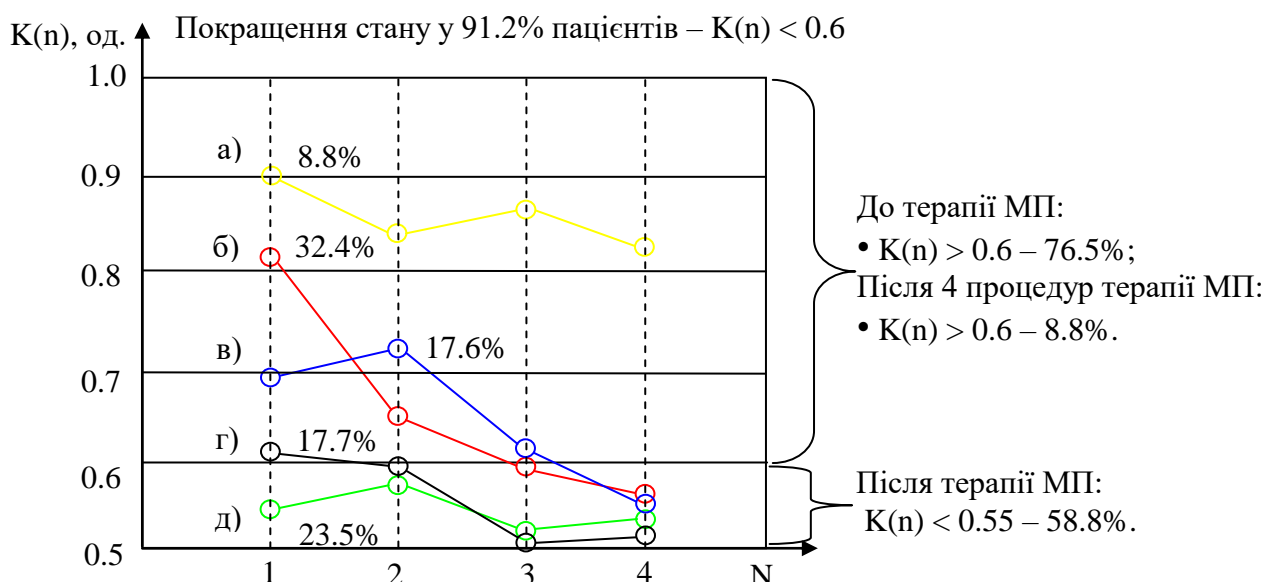


Рис. 10. Статистика змін НАФК $K(n)$ в процесі впливу МП

Для порівняльної оцінки ефективності комплексного лікування використано програмне забезпечення діагностичної системи ТКМ-1302. Аналіз стану меридіанів системою ТКМ виконувався за стандартною методикою для діагностики за методом Накатані. Ступінь кореляції між значеннями НАФК і

провідністю меридіанів фіксувалася за станом меридіанів МС, С, TR1, TR2, TR3, TR4, TR6 до початку впливу і після впливу магнітним полем. Загальна динаміка зміни НАФК показує зменшення величини коефіцієнта під впливом магнітного поля.

Таким чином, використання НАФК дозволяє вірогідно оцінити:

1. Ефективність методу корекції функціонального стану людини за допомогою терапевтичного впливу МП;
2. Ефективність використання НМ для розпізнавання сигналів ПХ і їхньої класифікації за характером судинних захворювань.

У висновках викладено основні результати дисертаційної роботи, розкрито їх наукову і практичну цінність. Підтверджено досягнення поставленої мети, доведено підвищення ефективності магнітотерапії при застосуванні методів і системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком, розкрито практичну цінність вирішених задач.

У додатках подано протокол клінічної апробації експериментального зразка системи адаптивної магнітотерапії і корекції функціонального стану людини та магнітотерапевтичного апарату МС-92М.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну та важливу науково-прикладну задачу розширення функціональних можливостей систем адаптивної магнітотерапії шляхом удосконалення методів адаптивної магнітотерапії за рахунок введення пульсометричного зворотного зв'язку, що дозволяє за допомогою розпізнавання сигналів нейронною мережею і обчислення параметрів сигналу магнітного поля із використанням біорезонансних частот пацієнта підвищити ефективність засобів адаптивної магнітотерапії шляхом досягнення лікувального ефекту при зменшенні часу впливу магнітним полем до 30% від числа процедур. У результаті виконання досліджень отримано наступні нові наукові та практичні результати:

1. На підставі порівняльного дослідження відомих методів пульсової діагностики, з використанням розпізнавання сигналу в нейронній мережі, доведено що пальцевий фотоплетизмографічний сигнал є інтегральною характеристикою функціонального стану периферичних судин, що з високим ступенем корелює з магнітотерапевтичним впливом (внутрішньогрупова дисперсія вибірки $\sigma \leq 0,088$).

2. Розроблено метод реалізації біологічного зворотного зв'язку в системах адаптивної магнітотерапії, заснований на оцінці нейронною мережею осцилометричних і фотометричних характеристик пульсової хвилі, за коефіцієнтами ряду Фур'є, що дозволяє коригувати форму магнітного сигналу виходячи з функціонального стану судин і скорочує час, достатній для ефективного впливу на 30% ($p = 0,05$) від кількості процедур.

3. Розроблено метод кількісної оцінки ефекту впливу магнітного поля на основі алгоритму обчислення нормованого амплітудно-фазового коефіцієнта форми плетизмографічної пульсової хвилі, динамічні зміни якого знаходяться в межах від 0,1 до 1,0, що дозволяє здійснювати інтегральну кількісну оцінку

функціонального стану периферичного кровообігу при впливі магнітним полем, параметри якого змінюються.

4. Запропоновано структуру системи адаптивної магнітотерапії, яка враховує технічні критерії реалізації біологічного зворотного зв'язку, що вдосконалена шляхом розробки каналу вимірювання фотоплетизмографічного сигналу пульсової хвилі, доповнена експертною системою її оцінки з виходом на пристрій терапії магнітним полем, який має імпульсний підсилювач струму індукторів, що дозволяє розширити функціональні характеристики системи адаптивної магнітотерапії.

5. Розроблено програмні засоби корекції лінійних і нелінійних амплітудно- і фазочастотних спотворень сигналів, що реєструються, розпізнавання образів сигналів пульсової хвилі, розрахунку, параметрів сигналів магнітного поля, формування та контролю параметрів магнітного поля, а також алгоритм формування спектрального складу сигналу магнітного поля на основі гармонійного складу сигналу пульсової хвилі, що дозволило реалізувати пульсометричний зворотний зв'язок.

6. Розроблено метод обчислення параметрів сигналу магнітного поля для засобів адаптивної магнітотерапії, що дозволяє задавати форму сигналу лікувального магнітного поля на підставі перетворення гармонійного складу пульсової хвилі в гармонійний склад сигналу магнітного поля і за динамічними змінами нормованого амплітудно-фазового коефіцієнта кількісно оцінювати ефективність магнітотерапії для корекції функціонального стану пацієнта.

7. Розроблено технічні засоби реєстрації та корекції сигналів біологічного зворотного зв'язку, в тому числі оптичний підсилювач сигналу з принциповою схемою реєстрації сигналу пульсової хвилі, імпульсний підсилювач струму навантаження без додаткового відводу тепла з коефіцієнтом корисної дії 51,5%, що дозволило розширити функціональні характеристики системи адаптивної магнітотерапії.

8. Виконана технічна реалізація та досліджена ефективність магнітотерапії при проведенні клінічної апробації дослідного зразка оригінальної системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотним зв'язком, що підтверджується патентом на винахід «Спосіб біорезонансної терапії» (№57386А, заявка №2002097379 від 11.09.2002) та актом про ефективне використання магнітотерапевтичної системи при комплексному лікуванні захворювань судин і гнійних ран на кафедрі факультетської хірургії №1 в хірургічному відділенні клінічної лікарні №18 м Києва.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Делавар-Касмаї М. Застосування магнітотерапії для лікування хворих із захворюванням серцево-судинної системи / Делавар-Касмаї М., Шликов В.В. // Наукові вісті НТУУ "КПІ", №5, 2014 р. – С. 33 – 37. *Особистий внесок здобувача полягає в апробації системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком (WorldCat, OpenAIRE, PИЦ та EBSCO)*
2. Делавар-Касмаї М. Технология оценки эффективности лечения больных с заболеваниями системы по характеристикам сигнала пульсовой волны / Делавар-Касмаї М., Шликов В.В. // Международный научно-практический

журнал «Інноваційні технології в медицині», Минск, №1(02), 2014 г. – С. 45 – 49. *Особистий внесок здобувача полягає в апробації зразка системи адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком (Закордонне, РІНЦ)*

3. Делавар-Касмаи М. Анализ эффектов последействия при терапевтическом воздействии магнитным полем / [Делавар-Касмаи М., Запорожко И.А., Зубчук В.И., Комар А.Г., Шлыков В.В.] // *Электроника и связь*, 2011, №4, Ч.4. – С. 137 - 143. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці методу кількісної оцінки функціонального стану (CrossRef)*

4. Делавар-Касмаи М. Концепция построения системы самотестирования и коррекции функционального состояния пользователя / Делавар-Касмаи М., Зубчук В.И., Шлыков В.В. // *Электроника и связь*, 1999, № 6, Том 1. – С. 111 - 115. *Особистий внесок здобувача полягає у розробці та формалізації структури магнітотерапевтичного комплексу (CrossRef)*

5. Делавар-Касмаи М. Высокоэффективный оконечный усилитель для индуктивной нагрузки / Делавар-Касмаи М., Зубчук В.И., Шлыков В.В. // *Электроника и связь*, 1999, № 6, Том 2. – С. 105 - 112. *Особистий внесок здобувача полягає в розрахунку і моделюванні кінцевого підсилювача для індуктивного навантаження (CrossRef)*

6. Делавар-Касмаи М. Аналого-цифровой формирователь магнитного поля / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Крещук В.А., Худякова Л.А.] // «*Электроника и связь*», вып. 15, 2002. – С. 112-117. *Особистий внесок здобувача полягає в розрахунку і моделюванні кінцевого підсилювача для індуктивного навантаження (CrossRef)*

7. Делавар-Касмаи М. Особенности съёма механокардиометрических сигналов и их программная обработка / Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И. Шлыков В.В. // «*Электроника и связь*», вып. 8, Том 2, Киев, 2000. – С. 260-263. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці алгоритму програмної корекції амплітудно- і фазочастотних спотворень, проведенні тестових вимірів (CrossRef)*

8. Синеккоп Ю.С. Применение магнитотерапии при лечении сосудистых заболеваний и гнойных ран / [Синеккоп Ю.С., Пойда А. И., Зубчук В. И., Шлыков В.В, Делавар-Касмаи М., Ахтеров О. В.] // «*Электроника и связь*», вып. 9, Киев, 2000. – С. 108-109. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці методу корекції функціонального стану при лікуванні судинних захворювань (CrossRef)*

9. Синеккоп Ю.С. Застосування комп'ютерного магнітотерапевтичного комплексу при лікуванні захворювань судин кінцівок та гнійних ран / [Синеккоп Ю.С., Пойда О.С., Зубчук В. И., Шлыков В.В., Делавар-Касмаи М., Ахтеров О.В.] // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*, 2001 р., № 5(19). – С. 90-97. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці методу корекції функціонального стану при лікуванні судинних захворювань (WorldCat, OpenAIRE, РІНЦ та EBSCO)*

10. Делавар-Касмаи М. Повышение точности датчика пульсового сигнала / Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Крещук В.А., Шлыков В.В. // «*Электроника и связь*», вып. 11, 2001. – С. 26-29. *Особистий внесок здобувача полягає в розрахунку оптоелектронного датчика з попереднім підсилювачем та*

алгоритму програмної корекції амплітудно- і фазочастотних спотворень (CrossRef)

11. Делавар-Касмаи М. Застосування нейронних мереж у пульсовій діагностиці / Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И. // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2001 р., № 6(20). – С. 32-39 *Особистий внесок здобувача полягає у виборі структури нейронної мережі при аналізі сигналів у пульсовій діагностиці (WorldCat, OpenAIRE, РІНЦ та EBSCO)*

12. Делавар-Касмаи М. Оценка эффективности и выбор структуры нейронной сети для задач медицинской диагностики // «Электроника и связь», вып. 15, 2002. – С. 160-163. *Особистий внесок здобувача полягає у виборі структури нейронної мережі та методу навчання мережі при аналізі сигналів у пульсовій діагностиці (CrossRef)*

13. Делавар-Касмаи М. Информационное обеспечение пульсодиагностики / Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Крещук В.А. // «Электроника и связь», 2005, ч.2. – С. 120 – 124. *Особистий внесок полягає в розробці інформаційного забезпечення (CrossRef)*

14. Делавар-Касмаи М. Динамічна пульсова експрес-діагностика / Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Запорожко И. О., Скорик О. В., Ткаченко В. Л. // «Электроника и связь», 2009, ч.2. – С. 252- 256. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці інформаційного забезпечення для системи експрес-діагностики (CrossRef)*

15. Делавар-Касмаи М. Формирование базы пульсовых волн для системы экспресс-диагностики / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Крещук В.А., Шлыков В.В.] // «Электроника и связь», 2006, ч.1. – С. 82-83. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці способу формування бази сигналів ПХ для системи діагностики (CrossRef)*

16. Делавар-Касмаи М. Специализированная база данных системы пульсовой диагностики / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Яценко В. П., Скорик О. В., Запорожко И. О., Крещук В.А.] // «Электроника и связь», 2007, ч.2. – С. 108-111. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці способу формування бази сигналів ПХ для системи експрес-діагностики (CrossRef)*

17. Патент Украины №57386А Способ биорезонансной терапии. / Делавар-Касмаи М., Шлыков В.В., Зубчук В.И. – Заявка №2002097379 от 11.09.2002. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці формули винаходу і виконанні досліджень.*

18. Делавар-Касмаи М. Оценка эффективности применения магнитотерапии при лечении больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы / Делавар-Касмаи М., Шлыков В.В. // Материалы конференции: 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастопольский НТУ, 8 – 14 сентября 2013 г. – С. 1091 – 1092. *Особистий внесок здобувача полягає в оцінці ефективності застосування магнітотерапії при лікуванні хворих із захворюваннями серцево-судинної системи (SCOPUS)*

19. Делавар-Касмаи М. Биологическая обратная связь в лазеротерапевтических комплексах / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Крещук В.А., Таранов В.В., Яценко Н.М.] // Материалы XVIII Международной научно-практической

конференции «Применение лазеров в медицине и биол.», Г. Ялта, 22-25 октябрь 2002 г. *Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні принципу зворотного зв'язку.*

20. Делавар-Касмаи М. Информационное обеспечение пульсовой диагностики / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Запорожко И. О., Скорик О. В.] // Шоста науково-технічна конференція «Приладобудування 2007: стан і перспективи» 2007. – С. 225 -226. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці алгоритму програмної корекції амплітудно- і фазочастотних спотворень.*

21. Делавар-Касмаи М. Оценка функционального состояния групп обследуемых по реакции на динамическую нагрузку / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Настенко Е. А., Носовец Е. К.] // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування 2008: стан і перспективи» Київ, 2008, ч.1. – С. 209 -210. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці критерію для оцінки функціонального стану пацієнтів.*

22. Делавар-Касмаи М. Комплекс экспресс-диагностики по данным пульсометрии / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Запорожко И. О., Скорик О. В.] // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування 2008: стан і перспективи» 2008. – С. 210 -211. *Особистий внесок здобувача полягає у розробці структури комплексу експрес-діагностики для задач пульсометрії.*

23. Делавар-Касмаи М. Проблемы экспресс-диагностики по данным пульсометрии / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Запорожко И. О., Скорик О. В.] // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування 2009: стан і перспективи», 2009. – С. 160 -161. *Особистий внесок здобувача полягає у формуванні вихідних даних для задач пульсометрії.*

24. Delavar-K. M. Recognition methods of polymetric human information research / Delavar-K. M., Zubchuk V.I., Zaporozhko I. A. // «Virtual instruments in biomedicine 2009» Proceedings of International Scientific – Practical conference Klaipeda, 2009. – P. 263-267. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці методики формування сигналів магнітного поля на основі гармонійного аналізу ПХ.*

25. Делавар-Касмаи М. Идентификация следовых эффектов терапевтического воздействия магнитным полем / [Делавар-Касмаи М., Комар А. Г., Зубчук В. И., Шлыков В.В.] // XVI Міжнародна конференція “Інформотерапія: теоретичні аспекти і практичне застосування”, жовтень, 2010. – С. 26 – 28. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці програмного алгоритму навчання нейронної мережі.*

26. Делавар-Касмаи М., Шлыков В.В. Анализ эффективности магнито-терапевтического воздействия // II Міжнародна конференція “Біомедична інженерія і технологія”, 17-18 березня, Київ, 2011. – С. 44 - 46. *Особистий внесок здобувача полягає в розробці методу кількісної оцінки ефекту впливу магнітним полем.*

27. Делавар-Касмаи М. Методы и средства оценки эффективности магнито-терапевтических процедур / [Делавар-Касмаи М., Запорожко И.А., Зубчук В.И., Шлыков В.В., Бондаренко И.В.] // II Міжнародна конференція “Біомедична інженерія і технологія”, 17-18 березня, Київ, 2011. – С. 43 - 44. *Особистий*

внесок здобувача полягає в розробці методу кількісної оцінки впливу магнітним полем.

28. Delavar-Kasmai M. Analysis of effects of the deferred action at therapeutic influence the magnetic field / [Delavar-Kasmai M., Zaporozhko I.A. Zubchuk V.I., Komar A.G., Shlykov V.V.] // Proceedings of the XXXI International Scientific Conference “Electronics And Nanotechnology”, April 12-14, Kyiv, 2011. – С. 137.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методу кількісної оцінки функціонального стану.

29. Shlykov V.V. Analyses of the magnetic field in patients with diseases of the cardiovascular systems / Shlykov V.V., Delavar-Kasmai M. // IV Міжнародний медичний форум. Міжнародний медичний конгрес, Київ, 16 – 19 квітня 2013. – С. 96. *Особистий внесок здобувача полягає у клінічній апробації алгоритму розпізнавання сигналів пульсової хвилі нейронною мережею.*

30. Делавар-Касмаи М. Оценка функционального состояния групп обследуемых по реакции на динамическую нагрузку / [Делавар-Касмаи М., Зубчук В. И., Настенко Е. А., Носовец Е. К.] // «Электроника и связь», 2008, ч.2. – С. 118-121. *Особистий внесок полягає в розробці критерію для оцінки функціонального стану (CrossRef)*

АНОТАЦІЇ

Делавар-Касмаї Мохаммад. Система адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотнім зв'язком. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні і медичні прилади і системи. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2017 р. Дисертація присвячена питанням розробки методів і систем адаптивної магнітотерапії, які засновані на інтегральній оцінці фізіологічних параметрів систем організму, а також проектуванню апаратури на основі методів “біорезонансної терапії” із застосуванням біологічного зворотного зв'язку. Оснащення систем магнітотерапії засобами зворотного зв'язку у вигляді сукупності сигналів, які надходять від пацієнта, дає можливість, установлювати параметри та режими магнітотерапії залежно від результатів діагностики і інформації про захворювання серцево-судинної системи. Таке керування терапевтичним впливом дозволяє врахувати при формуванні параметрів магнітного поля індивідуальні фізіологічні параметри пацієнта, його функціональний стан під час лікування, а також феномен звикання організму до дії електромагнітного поля. Наслідком цього є підвищення ефективності дії магнітного поля на пацієнта.

Ключові слова: апаратура магнітотерапії, гармонічний аналіз, діагностична система, зворотний зв'язок, мікроконтролерна система, нейронна сітка, пульсова хвиля, перетворювач тиску, цифрова фільтрація.

Делавар-Касмаи Мохаммад. Система адаптивной магнитотерапии с пульсометрической обратной связью. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2017 г.

Диссертация посвящена вопросам разработки методов и систем адаптивной магнитотерапии, которые основаны на интегральной оценке физиологических параметров организма, а также применению биологической обратной связи в аппаратах магнитотерапии.

В диссертационной работе разработаны теоретические принципы построения систем магнитотерапии с пульсометрической обратной связью, что позволяет управлять терапевтическим воздействием и учитывать при формировании параметров магнитного поля индивидуальные физиологические параметры пациента и его функциональное состояние во время лечения.

Выполнены постановка и решение задачи повышения функциональных возможностей аппаратов магнитотерапии и разработки методов адаптивной магнитотерапии с биологической обратной связью.

Усовершенствован метод адаптивной магнитотерапии с пульсометрической обратной связью, который основан на анализе гармонического состава пульсовых волн. Метод учитывает форму сигналов пульсовых волн с помощью распознавания сигналов нейронной сетью, что позволяет синтезировать сигнал магнитного поля, который адаптирован к пациенту, и повысить эффективность магнитотерапии.

Предложен метод количественной оценки эффекта воздействия магнитного поля на основе вычисления нормированного амплитудно-фазового коэффициента формы, полученного путем гармонического анализа сигнала пульсовой волны, что позволяет индивидуально настроить параметры сигнала магнитного поля.

Разработан метод вычисления параметров сигнала магнитного поля с использованием биорезонансных частот пациента, который отличается от существующих тем, что частотный диапазон воздействия магнитным полем вычисляются по спектру Фурье сигнала пульсовой волны и соответствует определённому функциональному состоянию пациента.

Создан экспериментальный образец системы адаптивной магнитотерапии с пульсометрической обратной связью с расширенными функциональными характеристиками, которые обеспечиваются средствами интегральной оценки функционального состояния человека, что позволяет повысить эффективность лечебного воздействия магнитным полем.

Ключевые слова: аппаратура магнитотерапии, гармонический анализ, микроконтроллерная система, нейронная сеть, обратная связь, преобразователь давления, пульсовая волна, система диагностики, цифровая фильтрация.

Delavar Kasmaei Mohammad. The adaptive magnetic therapy's system with a pulsemetrics feedback. – Manuscript.

The dissertation for Ph.D degree in engineering science, speciality 05.11.17 – Biological and Medical devices and systems. – National Technical University of

Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2017.

The dissertation dedicated to the problems of development for methods and adaptive magnetic therapy's systems, which based on an integrated estimation of systems' physiological parameters of organisms, and designing of the equipment based on methods of "bioresonant therapy" with application of a biological feedback. Equipment of magnetic therapy systems by means of a feedback as set of signals, which act from the patient, enables to establish parameters and modes of a magnetic therapy depending on results of diagnostics and the information on disease of cardiovascular system.

Such management of therapeutic influence allows taking into account at formation of parameters of a magnetic field individual to physiological parameters of the patient, its functional condition during treatment, and a phenomenon of an organism accustoming to action of an electromagnetic field. Consequence of it is increase of efficiency of action of a magnetic field on the patient.

Key words: biological feedback, digital filtration, magnetic therapy devices, neural network, pressure transducer, pulse wave, system based on microcontroller, system of diagnostics, Fourier analysis.