

М. Ф. ТЕРЕЩЕНКО, Г. С. ТИМЧИК,
В. Ю. РУДИК, М. В. ЧУХРАЄВ, Т. О. РУДИК

АВТОМАТИЗОВАНІ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Автоматизовані магнітотерапевтичні апарати

Монографія

*Рекомендовано Вченою радою
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

УДК 615.841:621.317.4] (02)
А22

*Гриф надано Вченою радою
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Протокол № 7 від 09.11.2020 р.)*

Рецензенти:

*А. Г. Мисюра, д-р біол. наук,
Інститут прикладних проблем фізики і біофізики НАН України*
*Ю. Ф. Тесик, д-р техн. наук, провід. наук. співроб.,
Інститут електродинаміки НАН України*

А22 Автоматизовані магнітотерапевтичні апарати : монографія /
М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик та ін. – Київ : КПІ
ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 272 с.

ISBN 978-966-900-010-4

Наведено результати досліджень дії магнітного поля на біологічну тканину, систематизовано матеріали з реакції біологічного об'єкта на магнітне поле. Розглянуто математичну модель взаємодії магнітного поля з біологічною тканиною, наведено результати математичного моделювання та експериментальних досліджень.

Подано результати досліджень структурних схем автоматизованих магнітотерапевтичних апаратів і систем, обґрунтовано методи підвищення ефективності їх роботи, вимірювання параметрів індукторів магнітного поля. Розглянуто конструкції індукторів та методики розрахунку їх параметрів. Особливу увагу приділено структурним особливостям автоматизованих магнітотерапевтичних апаратів зі зворотним зв'язком, підвищенню їх ефективності та адаптації біотропних параметрів магнітного поля відповідно до фізіологічних показників пацієнта під час сеансу магнітотерапії.

Для наукових та інженерно-технічних працівників медичного приладобудування та фізіотерапії, а також студентів та аспірантів закладів вищої освіти з інженерно-медичного напрямку підготовки фахівців з автоматизації та приладобудування.

УДК 615.841:621.317.4] (02)

ISBN 978-966-990-010-4

© М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик,
М. В. Чухраєв, Т. О. Рудик, 2020
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ПБФ), 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ПЕРЕДМОВА	10
РОЗДІЛ I. МАГНІТОТЕРАПІЯ СЬОГОДНІ	15
1.1. Становлення магнітотерапії	15
1.2. Біотропні параметри магнітних полів та їх класифікація.....	25
1.3. Біофізичні та біохімічні механізми дії магнітних полів	35
1.4. Фізіологічні та лікувальні механізми впливу магнітних полів на біологічні тканини.....	39
1.5. Аналіз клінічних досліджень зміни фізіологічних показників організму людини при проведенні процедури магнітотерапії	50
1.6. Біомагнетизм та біомагніторецепція.....	53
1.7. Методи традиційної магнітотерапії	55
1.8. Особливі методи магнітотерапії	65
1.9. Методи поєднаної та комбінованої магнітотерапії.....	76
1.10. Апарати магнітотерапії.....	93
1.10.1. Апарати магнітотерапії локальної дії.....	93
1.10.2. Апарати магнітотерапії розподіленої дії.....	101
1.10.3. Апарати магнітотерапії загальної дії	108
1.11. Конструкції індукторів та їх математичні моделі	119
1.11.1 Види систем індукторів загальної дії.....	128
1.12. Класифікація магнітотерапевтичної апаратури, напрями розвитку апаратів магнітотерапії та зворотній зв'язок.....	136
РОЗДІЛ II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНУ ТКАНИНУ	143
2.1. Дослідження зміни магнітопроникності біологічної тканини при дії магнітного поля	143

2.2. Магнітогідродинамічний ефект в механізмі дії магнітного поля на біологічну тканину.....	146
2.3. Математична модель впливу магнітного поля на зміну температури біологічної тканини	151
2.4. Експериментальні дослідження динаміки зміни температури біологічної тканини при дії магнітного поля	159
2.5. Порівняльна оцінка результатів математичного моделювання	160

РОЗДІЛ III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ

ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗМУ

ЛЮДИНИ ПІД ЧАС СЕАНСУ МАГНІТОТЕРАПІЇ 167

3.1. Експериментальні дослідження зміни пульсу та сатурації артеріальної крові верхніх кінцівок при магнітотерапії.....	168
3.2. Експериментальні дослідження зміни температури біологічної тканини при магнітотерапії.....	170
3.3. Прогнозування часу досягнення критично допустимого рівня температури біологічної тканини при дії магнітного поля	175
3.4. Порівняння результатів експериментальних досліджень з математичним моделюванням зміни температури біологічної тканини при дії магнітного поля.....	176

РОЗДІЛ IV. МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ

СЕРІЇ «МІТ» 179

4.1. Магнітотерапевтичні апарати «МІТ» базового рівня	179
4.2. Апарати магнітотерапії «МІТ» спеціалізованих напрямів	203
4.2.1. Апарат для вакуум-магнітотерапії «МВТ-01».....	203
4.2.2. Апарат для мікрострумової і фотоактивації «МВТ-01 МТФ»	204
4.2.3. Апарат низькочастотної магнітотерапії «МІТ-МТБВ».....	204

4.2.4. Апарат для гідролазерного вакуумного масажу намагніченою водою «СВД-01»	205
4.2.5. Вихрова ванночка для ніг «Купава»	206
4.2.6. Активатор рідини «МІТ-АСЯ».....	207
4.2.7. Апарат для догляду за шкірою обличчя «ЕЛІОФОР»	208

РОЗДІЛ V. МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ ПОЄДНАНОЇ ТА КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ

5.1. Магнітолазерні апарати	209
5.2. Апарати фотоманітотерапії.....	211
5.3. Апарат фотоманітобаротерапії	216
5.4. Апарати для віброманітотерапії	217
5.5. Апарат для манітоакустичної терапії	218
5.6. Апарати для електроманітотерапії	219
5.7. Апарати для термоманітотерапії	221
5.8. Апарати для гідро манітотерапії	222

РОЗДІЛ VI. АДАПТИВНІ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ.....

6.1. Спосіб впливу на організм манітним полем	226
6.2. Адаптивний автоматизований багатифункціональний апарат манітофонотерапії	228
6.3. Спосіб адаптивної імпульсної манітотерапії	231
6.4. Автоматизований апарат манітотерапії	233
6.5. Алгоритм автоматизованої оцінки впливу манітного поля на біологічну тканину.....	236
6.6. Дослідження лікувальної ефективності манітотерапевтичних апаратів зі зворотнім зв'язком	240
6.6.1. Визначення та порівняльний аналіз лікувальної ефективності дослідних зразків автоматизованих манітотерапевтичних апаратів.....	241

6.6.2. Порівняння лікувальної ефективності промислових магнітотерапевтичних апаратів з адаптивним магнітотерапевтичним комплексом	244
ПІСЛЯМОВА	246
ЛІТЕРАТУРА	247

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АДФ – аденозиндифосфат

АПТ – апарат поліхроматичної терапії

АТ – артеріальний тиск

БМТ – баромагнітотерапія

БО – біологічний об'єкт

БТ – біологічна тканина

ВІМП – високоінтенсивне імпульсне магнітне поле

ВМВ – викликана моторна відповідь

ВМП – випадкове магнітне поле

ВМТ – вібромагнітотерапія

ВТМТ – вібротермомагнітотерапія

ГеМТ – гемомагнітотерапія

ГіМТ – гідромагнітотерапія

ГМПЗ – геомагнітне поле Землі

ЕМЛТ – електромагнітолазерна терапія

ЕМСТ – електромагнітосвітлотерапія

ЕМТ – електромагнітотерапія

ЕнМТ – ендوماгнітна терапія (омагніченими розчинами)

ЗМП – змінне магнітне поле

ЗМПІ – зразкова міра магнітної індукції

ЗМТ – загальна магнітотерапія

ЗНЧМ – змінна низькочастотна (резонансна) магнітотерапія

ІБМП – імпульсне біжуче магнітне поле

ІМП – імпульсне магнітне поле

ІМТА – імпульсна магнітотерапевтична апаратура

ІТ – індуктотермія

КМТ – комбінована магнітотерапія

КомМТ – комплексна магнітотерапія
КрМТ – кріомагнітотерапія
МАТ – магнітоакустична терапія
МВПЗП – магнітовимірювальні прилади змінних полів
МГД – магнітогідродинамічний
МЕФ – магнітоелектрофорез
МЛТ – магнітолазерна терапія
МЛУТ – магнітолазероультразвукова терапія
МП – магнітне поле
МПХТ – магнітополіхроматична терапія
МТА – магнітотерапевтична апаратура
МТАЗД – магнітотерапевтичні апарати загальної дії
МТАЛД – магнітотерапевтична апаратура локальної дії
МТАРД – магнітотерапевтична апаратура розподіленої дії
МТЗД – магнітотерапія загальної дії
МФ – магнітофорез
МФБТ – магнітофотобаротерапія
МФНТ – магнітофонотерапія
МФТА – магнітофізіотерапевтична апаратура
НІМТ – низькоінтенсивна імпульсна магнітотерапія
НМП – низькочастотні магнітні поля
ОМП – магнітне поле, що обертається
ПБК – плоска безкаркасна котушка
ПДЗМП – прецезійні джерела змінних магнітних полів
ПМП – постійне магнітне поле
ПеМТ – пеломагнітотерапія
ПоМТ – поєднана магнітотерапія
ПуМП – пульсуюче магнітне поле
ПФС – полеформуєча система

СиМП – синусоїдальне магнітне поле

СКМТ – система комплексної магнітної терапії

СМП – скалярний магнітний потенціал

ТА – точки акупунктури

ТМС – транскраніальна магнітна стимуляція

ТМТ – термомагнітотерапія

ФМТ – фотомагнітотерапія

ПЕРЕДМОВА

Основна мета соціального розвитку країн у світі - підтримка високого рівня здоров'я громадян і запобігання розвитку хвороб та інвалідності. Здоров'я людини вважається надважливим фактором та займає першу позицію за показниками соціального розвитку будь - якої країни світу.

Реабілітація (лат. *re* - відновлювальна дія, *habilis* - зручний, пристосований) - комбіноване та координоване застосування соціальних, медичних, професійних заходів, направлених на максимально можливе відновлення чи компенсацію порушених психологічних та фізіологічних функцій організму людини, його працездатності. На даний момент проходить реформа системи реабілітації в Україні. В роботі [1] розглянуто сучасний стан системи реабілітації в Україні та представлено основні напрямки її реформування. Основним напрямком медичної реабілітації є відновлення здоров'я пацієнтів, яке починається відразу після екстреного лікування в якості його наступного етапу. За останні двадцять років змінилися уявлення про відновлення та підтримку організму людини у світовій медичній практиці. Система реабілітації в Україні сьогодні не досить ефективна, оскільки вона не в повній відповіді міжнародному досвіду, і більшість лікарів, що займаються фізичною терапією, не завжди володіють сучасними знаннями про принципи відновлення організму. Цей факт засвідчила місія з питань реабілітації ВООЗ, яка працювала в Україні 2015 року та дійшла висновку, що наші фахівці на відновлювальному етапі лікування застосовують велику кількість медикаментів, які не мають ефективного реабілітаційного впливу [1].

Сьогодні Україна почала активно створювати сучасну систему реабілітації. З листопада 2016 року відповідно до міжнародної класифікації та нормативів Європейського Союзу набули чинності зміни до класифікатора професій, в якому змінилися також і медичні посади. На сучасному етапі

реформи системи реабілітації проводиться забезпечення реабілітаційних відділень та лікарень відновлювального лікування сучасною фізіотерапевтичною апаратурою та новими спеціалістами з медичної реабілітації (лікар фізичної та реабілітаційної медицини). Щодо технічних засобів системи медичної реабілітації професор В. Стеблюк (2019 р.), відзначив, що в Україні випускають унікальні прилади і комплекси для фізіотерапії і реабілітації, які не поступаються кращим світовим зразкам, особливо відзначив НМЦ «Медінтех» в області медичної та психологічної реабілітації та методик зворотнього біологічного зв'язку.

Фізіотерапія входить до складу системи реабілітаційної медицини. Останніми роками в Україні та за кордоном широко розвивається і застосовується метод фізіотерапії - магнітотерапія, що базується на використанні штучних магнітних полів (МП) в медицині (найбільш часто у медичній практиці використовують низькочастотні МП). Експериментальні дослідження і клінічні спостереження вказують на високу терапевтичну ефективність МП при різних захворюваннях, високу сумісність з іншими лікувальними засобами [2-10]. Як фізіологічна, так і лікувальна дія МП різноманітна, залежить від застосованих методик магнітотерапії, біотропних параметрів МП, фізіологічних показників пацієнтів, індивідуальної магніточутливості організму людини та обумовлена протизапальним, знеболюючим, гіпотензивним, седативним, імуномодулюючим, трофічним, протипухлинним та іншими лікувальними ефектами при дії МП на біологічну тканину (БТ).

Серед методів фізіотерапії, магнітотерапія - ефективний та перспективний метод завдяки ряду факторів [8]:

- МП практично без ослаблення проникає через тканини організму;
- МП один з найбільш фізіологічних видів впливу на БТ, що може зводити до мінімуму побічні процеси;
- МП добре узгоджується з іншими фізичними факторами.

Теоретичні аспекти магнітотерапії опубліковані в роботах авторів В. І. Кармілова, Ю. А. Холодова, А. М. Демецького, І. З. Самосюка, В. Є. Іларіонава, С. О. Гуляра, Г. М. Пономаренка та інших [2-6, 11-14].

В даних роботах проведено дослідження біофізичної дії МП на організм людини, медико-біологічних особливостей застосування МП в медицині.

Особливості проектування та різноманітні підходи до апаратної реалізації пристроїв для магнітотерапії, методики розробки окремих компонентів, вузлів пристроїв керування магнітотерапевтичних апаратів (МТА) розглянуті в роботах А. М. Беркутова, В. С. Улащика, Г. Р. Соловйової, Ю. В. Малкова, Ю. М. Райгородського, І. З. Самосюка та інших вчених [8, 10, 15-32].

Широке поширення в різних галузях науки і техніки, особливо в біології і медицині, фізиці та техніці отримали МП та магнітні методи вимірювання. Узагальнені знання, отримані в результаті досліджень МП на стику наук, дозволили створити наукові основи магнітотерапії.

За функціональними можливостями, рівню структурної складності і технології взаємодії медичних технічних засобів, що лікують МП, з тканинами і організмом їх можна розділити на інструментальні вироби (наприклад, електромагніти, постійні магніти) та апарати і системи [15]. В залежності від локалізації дії МП, яке створюється індуктором, на біологічний об'єкт, розрізняють апарати локальної (місцева фізіотерапія та МП певної ділянки тіла), розподіленої (для фізіотерапії МП суттєвої ділянки тіла або різних органів та ділянок тіла одночасно, наприклад кінцівки), загальної (для фізіотерапії МП всього організму людини) дії.

В практичній медицині широко використовуються діагностичні медичні прилади та системи стимуляції пацієнтів. Питання щодо конструкцій та особливостей використання даних медичних приладів розглянуті в роботах [33-38].

Сучасною тенденцією розвитку фізіотерапії є розробка та використання адаптивних МТА та ультразвукових терапевтичних апаратів з систе-

мою контролю фізіологічних показників людини при впливі на організм МП та ультразвуку, що забезпечують надійність, універсальність або спеціалізацію використання в необхідному динамічному та частотному діапазонах МП і ультразвуку та оптимізацію біотропних параметрів впливу МП і ультразвуку відповідно до аналізу змін фізіологічних показників людини під час сеансу фізіотерапії [8, 17, 22, 27, 28, 30, 31, 39-42].

Перспективним напрямом розвитку МТА є удосконалення, розробка та впровадження в клінічну практику апаратів, заснованих на поєднаних та комбінованих методах впливу МП на БТ (магнітолазерна терапія, електромагнітотерапія, термомагнітотерапія та інш.). Поєднані та комбіновані методи впливу розширили показання для лікувального та реабілітаційного використання МП.

Не зважаючи на велику кількість публікацій та експериментальних і клінічних досліджень, не достатньо повно обґрунтовано математичне моделювання впливу МП на БТ, тому деякі питання магнітотерапії залишаються нез'ясованими та вимагають обговорення і дослідження [8]. Поява нових розробок МТА сприяє актуалізації магнітотерапії.

В монографії представлені біофізичні механізми дії МП на БТ, систематизовані матеріали по реакції біологічного об'єкту на дію МП, запропонована математична модель взаємодії МП з БТ, приведені результати математичного моделювання і експериментальних досліджень.

Наведені результати досліджень у напрямку автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій медичних систем, а саме - принципи побудови магнітотерапевтичних апаратів та систем, методи підвищення ефективності їх роботи, вимірювання параметрів індукторів МП. Розглянуто конструкції індукторів та їх математичні моделі. Суттєва увага приділена структурним особливостям побудови МТА, підвищенню їх ефективності та адаптації біотропних параметрів МП відповідно до фізіологічних показників пацієнта під час сеансу магнітотерапії.

Монографія розрахована на науковців, практикуючих фахівців з фізичної і реабілітаційної медицини, що активно використовують в своїй лікувальній діяльності магнітотерапевтичні методи впливу, наукових та інженерно-технічних працівників, спеціалістів медичного приладобудування, а також студентів та аспірантів вищих навчальних закладів з технологічного та інженерно-медичного напрямку підготовки.

Розділи I, IV, V - написані авторами спільно, розділи II, III, VI написані Рудиком В. Ю. Експериментальні дослідження впливу МП на БТ проведені Рудиком В. Ю.

РОЗДІЛ І. МАГНІТОТЕРАПІЯ СЬОГОДНІ

1.1. Становлення магнітотерапії

Лікувальні властивості природних магнітів відомі з давнини. Ще Арістотель в своїх філософських працях відзначав, що природний мінерал магнітний залізняк використовувався в античному світі під назвою «білий камінь» для лікування багатьох захворювань. До того часу відносяться відомості про використання магнітів грецьким лікарем Гіппократом при лікуванні деяких хвороб. Про лікувальні властивості та терапевтичне застосування магніту згадує і римський історик Пліній Старший в книзі «Природня історія».

Англійський фізик та лікар В. Гільберт в своїй книзі «Про магніт, магнітні тіла та великий магніт Землю», опублікованій в 1600 році в Лондоні, присвятив окрему главу терапевтичній дії МП.

В 1780 та 1784 рр. королівська медична комісія Франції прийшла до висновку, що магніти дійсно володіють лікувальною дією та найбільш доцільно їх застосовувати при лікуванні нервових захворювань. Внаслідок цього 1780 рік можна вважати роком народження наукового підходу до магнітотерапії [32]. Дискредитація магнітотерапії австрійським лікарем Ф. Месмером в кінці XVIII сторіччя уповільнила подальший розвиток магнітотерапії [43].

На розвиток магнітотерапії суттєвий вплив здійснили дослідження фізиків з електромагнетизму. Г. Ерстед, А. Ампер та М. Фарадей фізично обґрунтували процеси виникнення МП та його зв'язок з електричним струмом. Британський фізик Джеймс Максвелл розробив математичну модель теорії електромагнетизму.

В подальшому електромагнітними явищами займалися такі відомі вчені, як А. Г. Столетов, П. Кюрі, П. Вейс, Е. Резерфорд, Н. Бор, А. Ейнштейн, П. Л. Капіца, Д. Ландау, Ф. Біттер та багато інших.

Їх дослідження здійснили суттєвий вплив на розробку наукових основ магнітології, магнітотерапії, біомагнетизму.

В Європі вивченню та розвитку магнітотерапії сприяли дослідження Маджиорані (Італія), Г. Дюрвілля (Англія) та Ж. Шарко (Франція), Карпентера та Дженнігса (Англія). В Російській імперії дослідженням магнітотерапії займалися С. П. Боткін, В. І. Дроздов. В 1881 році в Петербурзі вийшла монографія М. І. Григор'єва «Металоскопия и металотерапия», частково присвячена терапевтичній дії магнітів. В 1901 році в Харкові вийшла монографія фізіолога В. Я. Данілевського «Исследование над физиологическим действием электрики на расстоянии», де систематизована інформація з електромагнітотерапії.

Початок інтенсивних досліджень в області магнітобіології був здійснений в кінці 40-х років ХХ сторіччя радянським електромагнітобіологом Ю. А. Холодовим, який досліджував вплив МП на риб, птахів, тварин, людей. Результати досліджень були опубліковані в книгах «Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему» (1966), «Магнетизм в биологии» (1970), «Электромагнитные поля в нейрофизиологии» (1979), «Мозг в электромагнитных полях» (1982), «Магнитные поля биологических объектов» (1987), «Реакция нервной системы человека на электромагнитные поля» (1992).

І. Л. Деген запропонував методики лікування магнітотерапією захворювань опорно - рухового апарату в докторській дисертації на тему «Лечебное действие магнитных полей при некоторых заболеваниях опорно-двигательного аппарата», захищеній в СРСР 1973 році. Дана дисертація є одною з перших в Радянському Союзі медичних докторських дисертацій з магнітотерапії. В подальшому І. Л. Деген емігрував в Ізраїль, де продовжив займатися медичною практикою. У 2010 році У Москві І. Л. Дегеном опубліковано книгу «Магнитотерапия», де особлива увага приділена лікуванню МП захворювань та травм опорно - рухового апарату.

У СРСР вийшли збірки наукових праць «Влияние магнитного поля на биологические объекты» (1971) та «Реакции биологических систем на магнитные поля» (1978).

Певний внесок в обґрунтування механізмів взаємодії МП з біологічними системами зробив радянський вчений М. А. Шишло. У співавторстві з Ю. А. Холодовим М. А. Шишло опублікував книгу «Электромагнитные поля в нейрофизиологии» (1979).

Білоруський вчений А. М. Демецький досліджував механізми дії МП на біологічні системи та зробив певний внесок в розробку деяких методик лікування МТА. За результатами досліджень опубліковані книги «Искусственные магнитные поля в медицине» (1982), «Учебное пособие по применению магнитной энергии в практике охраны здоровья (1991)», «Введение в медицинскую магнитологию» (1991).

Кроком вперед в розвитку російської магнітобіології стали дослідження В. М. Бінгі, які систематизовані в монографії «Магнитобиология: эксперименты и модели» (2002).

Російський вчений Аристархов В. М. в захищеній в 2003 році докторській дисертації «Биофизические механизмы действия магнитного поля: теоретические и экспериментальные исследования» обґрунтував біофізичні механізми дії МП на молекулярному, органному, клітинному, тканинному та системному рівнях живого організму.

В Україні колектив вчених на чолі з професором І. З. Самосюком в межах роботи Всеукраїнської асоціації фізіотерапевтів та курортологів, медичної академії післядипломної освіти ім. Шупіка, м. Київ та ЗАТ «Медінтех» з 1998 року провели велику роботу з розробки нових зразків реабілітаційної техніки, в тому числі і сучасних зразків МТА, що впровадженні в медичну практику практичної магнітотерапії [10, 44-55].

В 2004 році у Києві В. В. Сердюком опубліковано монографію «Магнитотерапия: прошлое, настоящее и будущее», де розглянуто історію

магнітотерапії, фізіологічну дію МП на організм людини, лікування патологічних процесів МТА.

В 2006 році у Києві С. А. Гуляром та Ю. П. Лиманським опубліковано монографію «Постоянные магнитные поля и их применение в медицине», в якій представлено біофізичні основи магнітотерапії, механізми фізіологічної дії МП, медичне використання методів магнітотерапії.

Мартинюк В. С. захистив в 2008 році в Україні докторську дисертацію на тему «Молекулярно-клітинні механізми дії змінних магнітних полів наднизької частоти», де обґрунтував молекулярно-клітинні механізми дії МП.

Розвиток магнітотерапії сприяв створенню пристроїв та апаратів магнітотерапії. Перші апарати магнітотерапії були створені на початку ХХ сторіччя в Швейцарії, коли інженером Е. К. Мюллером був розроблений стаціонарний апарат для лікування МП. Починаючи з 1903 року в Німеччині використовувався стаціонарний апарат для лікування обертаючим МП-апарат Трюба. В 1927 р. М. Коваршик створив пристрій, генеруючий високочастотне МП, а лікувальний метод застосування даного пристрою отримав назву короткохвильової діатермії чи індуктотермії (сьогодні цей метод фізіотерапії називається високочастотною магнітотерапією).

На початку 1930-х років були створені МТА, які використовували різні види МП.

В Італії Ельман створив апарат для локальної магнітотерапії, в складі секційного індуктора (1-2 одночасно працюючі котушки з сердечником). В Данії К. Еденфельс отримав патент на апарат, основною функціональною частиною якого були гнучкі круглі соленоїди, що дозволяло сприяти більш ефективному впливу МП, майже на всі частини організму людини.

В США були розроблені апарати «I-ON-CO», «Vitrona», «Therenoid» з індуктором - соленоїдом, що живиться синусоїдальним струмом. Незважаючи на позитивні результати лікування даними апаратами [15] Американська медична асоціація на той час не визнавала терапевтичну дію даних

МТА через біологічні експериментальні дослідження впливу МП на БТ 40-річної давнини.

В СРСР до 1930-х років магнітотерапія не вважалася науково обґрунтованим методом лікування [15]. Помітним внеском у розвиток магнітотерапії стали наукові та інженерні розробки В. І. Кармілова, одного з засновників відомої школи пермських магнітологів. Вперше електромагнітний терапевтичний апарат був створений радянським вченим В. І. Карміловим в 1938 році та успішно використовувався для лікування хворих. В роки Великої Вітчизняної війни професори В. І. Кармілов та М. Р. Могендович успішно використовували постійні магніти та електромагніти для профілактики та лікування інфекційних ускладнень ран. Магнітотерапія застосовувалася для стимуляції процесу загоєння тканин у поранених, що проходили лікування в тилових шпиталях [7]. Результати клінічних досліджень пермських лікарів були опубліковані в 1948 році в науковому збірнику «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строго периодической вибрации».

В 1960-х роках в Румунії виготовлений апарат для магнітотерапії «Магнетодіафлюкс», а в Японії створений перший апарат вібромагнітотерапії розподіленої та загальної дії «Магнетайзер» [15]. В 1970-х роках в ФРН почався випуск промислових МТА «Магнетрон» та «Біомагнетикс», у Франції «Магнобіопульс», в Болгарії «Магніт Н-80». Подібні МТА були створені в Іспанії - «Мультипульс» та в Італії - «Ронефор».

З 1975 року в СРСР вперше серійно почав випускатися апарат для магнітотерапії «Полюс-1». В подальшому були створені його модифікації «Полюс-2» та «Полюс-101», а також апарати інших моделей: «Алимп», «Маг-30», «Градиент», «АЛМТ-01», «МІО», «ПДМТ-01», «Полемиг».

В 1991 році в Москві вийшла книга Г. Р. Соловйової «Магнітотерапевтична апаратура», де систематизовано інформацію про радянські та закордонні МТА локальної та розподіленої дії [15].

В Україні успішно використовують в медичній клінічній практиці апарати ТОВ Науково - методичного центру «Медичні іноваційні технології»: апарат для рефлексотерапії «МІТ-1» (1992), апарат для фізіотерапії комбінований «МІТ-11» (1993), апарати для магнітолазерної терапії «МІТ-1 МЛТ» (1996), імпульсні комбіновані МТА, які працюють на функціональних терапевтичних частотах, «МІТ-МР» (2002), МТА, які реалізують рухливе МП на функціональних частотах «МІТ-МРС» (2001), МТА для виконання багаторівневого поліфакторного впливу на резонансних частотах «МІТ-МЛТ» (2003) і «МІТ-МТ» (2015), МТА для виконання магнітолазероелектростимуляції м'язів «МІТ-МЛЕ» (2016), МТА для магнітофотостимуляції нижніх кінцівок «МІТ-МТ2», МТА для магнітофотостимуляції кінцівок «МІТ-МТГО» в режимі гіпербаричної оксигенації (2020). В 2000 році у Києві опубліковано книгу І. З. Самосюк, М. В. Чухраєва «Терапия магнитными полями», де розглянуто засоби МТА станом на кінець ХХ століття та запропоновано відповідні методики лікування пацієнтів МП.

В Російській Федерації з'явилися модифікації радянських апаратів: «Полюс-3», «Полюс-4», «Градиент 2», «Градиент 3», «Градиент 4», створені МТА серій «АЛМАГ», «АМНП», «Индуктор», апарати «Атос», «ПДМТ-02», «Магнитер», «Каскад», «Биос», «Елена», «АМТО-01», «Тесламед», «Мавр», «Мавр 2», «АМИТ» та інш. Дані апарати призначені для локальної (місцевої) та розподіленої дії на хворий орган, суттєву ділянку тіла пацієнта.

В Україні на державному підприємстві «Новатор» розроблено модифікаційний варіант радянського апарату «Маг-30» - апарат «Маг-30-4».

Створення сучасних МТА загальної дії в СРСР розпочалося рязанською науковою школою магнітотерапії (Рязанський радіотехнічний інститут) [22]. У 1970-х роках апарат загальної магнітотерапії «Звезда» був сконструйований науковцями даного інституту разом зі співробітниками медичного інституту. Експериментальні дослідження та клінічні випробування апарату «Звезда» дозволили створити в 1990-х роках більш досконалий

апарат «Аврора МК-01», який став випускатися серійно та використовуватися в медичній практиці. В подальшому у середині 1990-х років була розроблена система комплексної магнітотерапії «Мультимаг МК - 03» з персональною електронною обчислювальною машиною, де застосовувалася діагностична апаратура, відповідно до якої оптимізувалися біотропні параметри впливу. На початку двотисячних років був створений більш досконалий апаратно-програмний комплекс загальної дії «КАП-МТ-8 Мультимаг». Результати російських вчених з Рязані на чолі з А. М. Беркутовим, В. І. Жулевым, Г. А. Кураєвим, Є. М. Прошиным представлено в опублікованій в 2000 році книзі «Системы комплексной электромагнитотерапии». В подальшому наукові дослідження продовжувалися та відповідно до них в 2004 році під керівництвом А. М. Беркутова В. Жулевым була захищена докторська дисертація «Системы комплексной магнитотерапии общего воздействия с дискретно управляемой структурой магнитного поля», а О. В. Кір'яковим під керівництвом Є. М. Прошина та В. І. Жулева кандидатська дисертація «Разработка и исследование методов и средств оперативного управления биотропными параметрами в системах комплексной магнитотерапии».

В 1990-х роках російськими вченими Ю. В. Гавінським, Д. А. Синицьким розроблені апарати загальної магнітотерапії «Магнитор-АМП» (з адаптивним зворотним зв'язком (ЗЗ) за температурою та пульсом пацієнта), «Магнитотурботрон», які успішно використовувалися в медичній практиці. Пізніше були створені апарати «Магнитотурботрон-2», «Магнитотурботрон-2М». Шляхом вдосконалення МТА «Магнитотурботрон-2» був створений автоматизований низькочастотний МТА загальної дії «Алма». В 2008 році Ельмутаз Білахі Таха Мухамед Абдула захистив кандидатську дисертацію «Розробка, методика розрахунку та математичне моделювання індуктора «Магнитотурботрона»», де розроблений та досліджений МТА «Магнитотурботрон 3», у якому на відміну від апаратів «Магнитотурботрон-2»,

«Магнитотурботрон-2М» суттєво спрощена технологія його виготовлення, транспортування та монтаж - демонтаж, зберігаючи всі переваги вказаних апаратів, розроблений високоефективний індуктор. Апарат успішно використовувався для лікування злоякісних пухлин, зокрема раку молочної залози.

Внесок в практичну реалізацію адаптивного ЗЗ в МТА зробили і українські вчені.

В 2004 році українським вченим В. В. Шликовим захищено кандидатську дисертацію «Комп'ютерний комплекс адаптивної магнітотерапії», де запропоновано комплекс магнітотерапії загальної дії «МС-2000» з адаптивним ЗЗ.

В 2017 році в Україні в Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського під керівництвом В. В. Шликова - Делавар – Касмаї Мохаммадом була захищена кандидатська дисертація «Система адаптивної магнітотерапії з пульсометричним зворотним зв'язком», де представлено експериментальний зразок апарату локальної магнітотерапії «МС-92М» з біотехнічним зворотним зв'язком.

Єлатомським заводом приладів в Російській Федерації створено апарати серії «Полимаг» для локальної, розподіленої та загальної магнітотерапії, які успішно використовуються в клінічній медицині.

В 2003 році під керівництвом А. А. Яшина та Т. І. Суботіної Д. А. Кузнецов захистив кандидатську дисертацію «Методы разработки устройств магнитерапии», де запропонував макетний зразок апарата інтегральної магнітотерапії «Веер-НМТ», лікувальна ефективність якого підтверджена дослідженнями на щурах з метою лікування гастроентерологічних захворювань пацієнтів.

Вагомий внесок в розробку МТА внесли білоруські вчені та лікарі (А. М. Демецький, С. П. Козловський, Г. А. Говор, В. Ф. Муравйов, В. С. Улащик, Л. Є. Козловська, С. В. Плетньов, А. С. Плетньов, В. В. Міхневич, Н. В. Войченко). Завдяки їх зусиллям в Білорусії є всі умови для застосування в комплексному лікуванні найрізноманітніших захворювань

всіх сучасних технологій магнітотерапії (від постійної магнітотерапії до загальної магнітотерапії, транскраніальної магнітостимуляції, міомагнітостимуляції поєднаної з комбінованою магнітотерапією). У 1990-х роках в Білорусії почали виготовляти МТА серії «СПОК»: «ОртоСПОК», «УниСПОК», «ГинеСПОК», «ФотоСПОК» та інші. У 2001 році в Мінську опубліковані матеріали міжнародної науково - практичної конференції «Низькочастотна магнітотерапія», де розглянуто клінічне використання білоруських апаратів низькочастотної магнітотерапії серії «СПОК». В 2000-х роках в Білорусії розроблено МТА «АМТ-01», «Радиус-Магнит». В 2004 році С. В. Плетньов опублікував книгу «Магнитное поле: свойства, применение» та запропонував біоімпедансний метод контролю впливу МП апарату «ГинеСПОК» в докторській дисертації «Система контроля та направленного воздействия магнитных полей на состояние биологических объектов». У 2010 році Є. І. Золотухіною та В. С. Улащиком опубліковано у Вітебську книгу «Основы импульсной магнитотерапии», де представлено прилади імпульсної магнітотерапії НВО «Диполь»: апарати високоінтенсивної магнітотерапії серії «Сета-Д» («Сета-Д-1», «Сета-Д-2», «Сета-Д-3», «Сета-Д-4», «Сета-Д-5») та методики їх застосування, апарат термомагнітотерапії «АТМТ-01». В 2015 році в Мінську опубліковано книгу В. С. Улащика, С. В. Плетньова «Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение», де розглянуто сучасні методи та апарати магнітотерапії, показання та протипоказання для їх застосування, лікування патологічних процесів МП.

До сучасних МТА Європейського Союзу відносяться апарати серій «BTL Magnet», «Magnetomed», «Cosmogamma»; апарати «BEMER 3000», «Magcell», «Bodymag», «VIOFOR MRS 2000», «QRS Quantron», «Magstim». Сучасні МТА Ізраїлю та США: «Curatron» та, відповідно, «MRS 2000», «Cadwell MES-10».

Відкриття методів поєднаної та комбінованої магнітотерапії, таких як магнітолазерна терапія (в 1979 році розроблена та обґрунтована

А. К. Полонським, в 1990 році В. Є. Іларіонов більш детально розкрив біомеханізм магнітолазерної терапії), електромагнітотерапія, магнітофоно-терапія, вібромагнітотерапія, кріомагнітотерапія, термомагнітотерапія, фотомагнітотерапія, гідромагнітотерапія, локальна баромагнітотерапія та інші, підвищило лікувальний ефект та розширило показання для процедур з лікувальною дією МП.

До закордонних сучасних комбінованих МТА належать: магнітолазерні апарати серій «МИЛТА», «СНАГ», «СЕНС», «АЙБОЛИТ», апарати фотомагнітотерапії серії «ГЕСКА» та апарати «МСТ-01 «Мастер»», «Магнолия», «ФотоСПОК», «Андро-Гин», апарати магнітобарометрії «АндроСПОК» «АЛБМТ-1», апарати вібромагнітотерапії «Магнетайзер», «Hot Magnet», «АЛП-01 Мавит», апарат магнітоакустичної терапії «Магафон-01», апарат електромагнітотерапії «Седатон», апарати термомагнітотерапії «АТМТ-01 Фаворит», «АТМТ-01М», апарати гідромагнітотерапії «АкваСПОК-01» та «АкваСПОК-02» (розроблені під керівництвом В. С. Улащика).

В 2004 році П. Новаком у м. Дніпро опубліковано монографію «Электромагнитные поля в биологии и медицине», де розглянуто біофізичні механізми дії електромагнітних полів на БТ, конструкції та математичні моделі індукторів МТА, МТА та прилади вимірювання МП.

В книзі доктора медичних наук В. Є. Іларіонова «Магнитотерапия» (2009 рік) розглянуто методологію магнітотерапії та апарати інформаційної фізіотерапії.

Для більш точного дослідження конфігурацій та параметрів МП в індукторах та котушках МТА розглянемо питання щодо створення методів та засобів вимірювання значень магнітних величин. Ще в 1785 році французьким фізиком Ш. Кулоном був запропонований метод вимірювання напруженості МП, заснований на визначенні періода вільних коливань чи значення кута повороту магнітної стрілки відносно точки опору.

В 1830-х роках німецькі фізики К. Гаус та В. Вебер розширили математичну модель теорії геомагнетизму та розробили методи магнітних вимірювань слабких МП. В 1979 році вийшла книга лєнінградських вчених Ю. В. Афанас'єва, М. В. Студенцова, В. М. Хорева, Є. М. Чечуріної, О. П. Щєлкіна «Средства измерения параметров магнитного поля», де систематизовано дані про засоби вимірювання МП та математичні моделі мір магнітних величин [56]. В книзі українських науковців І. П. Грінберга, Є. О. Шуляковського «Измерители индукции переменных магнитных полей» (опубліковано у 1982 році, м. Київ, Видавництво «Техніка»), що працювали ВО «Електровимірювач», м. Житомир, представлено магнітовимірювальні прилади для вимірювання індукції змінних магнітних полів (ЗМП), що були розроблені спільно з відділом Таранова С. Г та лабораторією Брайко В. В. Інститута електродинаміки НАН України та випускались Житомирським виробничому об'єднанні «Електровимірювач» [57]. Інформація про сучасні методи та прилади магнітних вимірювань систематизована в книгах О. П. Нєстеренко «Магнитные измерения» (2003 рік) та В. І. Бондаренко «Аналоговые измерительные приборы. Магнитные измерения: учебное пособие» (2007 рік) [58,59].

В кінці ХХ та на початку ХХІ сторіччя МТА якісно оновилася, а інтерес до магнітотерапії підвищився завдяки практичній реалізації принципу адаптивного ЗЗ, більш широкого використання методів поєднаної та комбінованої магнітотерапії, успішного використання високоінтенсивної імпульсної магнітотерапії.

1.2. Біотропні параметри магнітних полів та їх класифікація

Геомагнітне поле Землі (ГМПЗ) носить практично стаціонарний характер (магнітна індукція близька до 50 мкТл) і є для людини квазіоднорідним і майже рівномірним практично в будь-якій точці Землі, оскільки розміри людини не співмірні з розмірами джерела МП.

Разом з наявністю стаціонарного ГМПЗ, на Земній кулі можлива поява природніх нестаціонарних МП. До них належать магнітні бурі, джерелом виникнення яких є енергетична (фізико-хімічна) взаємодія з Сонцем планет Сонячної системи, у тому числі і Землі. При магнітних бурях, в основному, формуються поля вихрової структури. Окрім них слід враховувати таке природне явище, як грозові розряди, що створюють потужні магнітні імпульси широкого спектрального діапазону. Окрім стаціонарних і нестаціонарних МП природного походження в останні десятиріччя широке розповсюдження отримали штучні постійні і змінні МП, створювані промисловими об'єктами: електростанціями, лініями електропередач, електроприладами, комутаторами енергомереж, радіопередавальними пристроями і іншими технічними засобами [6].

В усіх точках простору, що оточує рухомий електричний заряд (електричний струм) виникає МП. Між системами довільних струмів виникають механічні сили взаємодії, тобто МП володіє силовою дією на рухомі заряди та струми. МП створюється циркулюючими в магнетіку електричними струмами і складається з поля молекулярних струмів, магнітних моментів струмів, відповідних орбітальному руху електронів, і з дипольних магнітних моментів спінів електронів.

МП створюються переважно ланцюгами з низьким хвильовим опором, великими струмами при відносно малих перепадах напруги (індуктивні елементи), а електричні поля-ланцюгами з великим опором при високій напрузі і малих струмах (ємкісні елементи). Будь-яке джерело МП має два полюси: північний N та південний S.

У системі, де діє змінний струм, виникає електромагнітне поле, що має два компоненти: електричну і магнітну складові. Стан такої системи описується системою рівнянь Максвелла:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (1.1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (1.2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{D} = 0, \quad (1.3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0, \quad (1.4)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (1.5)$$

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \quad (1.6)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (1.7)$$

де E - напруженість електричного поля;

H - напруженість МП;

D - електрична індукція;

B - магнітна індукція;

j - густина струму;

ε - відносна діелектрична проникність;

ε_0 - діелектрична стала;

μ - відносна магнітна проникність;

μ_0 - магнітна стала;

σ - питома електрична провідність;

▼ - оператор Гамільтона.

З рівнянь Максвелла слідує, що будь-яка зміна магнітної складової поля породжує зміну електричної складової і навпаки.

У більшості магнітотерапевтичних апаратів і систем змінне електромагнітне поле генерується за допомогою індукторів-соленоїдів, або за допомогою індукторів-електромагнітів чи котушок в діапазоні частот від інфранизьких до 1 кГц. [22]. У більшості апаратів для магнітотерапії вплив здійснюється практично чисто гармонічним МП. На частотах, вищих ніж 1 кГц, необхідно враховувати розподіл енергії між електричною і магнітною складовими електромагнітного поля.

Жива тканина в електричному відношенні є провідником і, тому, практично прозора для МП.

Під терміном «біотропні параметри» розуміються фізичні характеристики МП, що визначають первинні, біологічно значимі фізико-хімічні механізми дії поля, що обумовлюють формування відповідних реакцій як окремих органів, так і на рівні цілісного організму. До них відносяться: напруженість МП, магнітна індукція, енергія, градієнт, вектор і частота поля, форма в часі і просторі, експозиція і локалізація дії. Від кожного з параметрів, а також від їх поєднання суттєво залежить ефективність лікування того або іншого захворювання [60].

Напруженість МП (H) називається сила, з якою МП діє на розташованого перпендикулярно напрямку силових ліній прямокутного провідника, по якому тече струм. Одиницею виміру напруженості МП в системі СІ є Ампер поділений на метр А/м.

Магнітна індукція (B) - основний параметр МП, що є густиною магнітного потоку Φ (магнітний потік Φ , що приходить на одиницю площі перетину). Магнітна індукція - величина векторна, характеризується модулем і напрямом. Одиницею виміру магнітної індукції в системі СІ є Тесла (Тл).

Біологічно активним є будь-яке МП, величина якого відрізняється як у бік збільшення, так і у бік зменшення від ГМПЗ, що становить десятки мкТл.

Гранично допустимий рівень величини індукції МП, що використовується на виробництві складає близько 1...2 Тл [6].

В залежності від значення магнітної індукції (**B**) існують **слабкі** (**B < 12 мТл**), **середні** (**B=12-50 мТл**), **підсилені** (**B = 50-500 мТл**), **сильні** (**B > 500 мТл**) МП, які використовуються в магнітотерапії.

Значення магнітної індукції у серійних МТА, знаходиться в межах: для локальної та розподіленої дії на пацієнта - здебільшого від 15 до 50 мТл, для загальної дії на людину - здебільшого від 0,5 до 5 мТл, призначеній

для високоінтенсивної магнітотерапії від 500 до 4000 мТл, для впливу на біологічно активні точки - 100 мТл [22]. У наявності тенденція до зниження інтенсивності МП із збільшенням площі дії та часу.

Найбільшого поширення в лікувальній практиці набули слабкі та середні низькочастотні магнітні поля (НМП). Поле є однорідним, якщо магнітна індукція не змінюється в просторі та часі на період проведення фізіотерапевтичної процедури. У однорідному полі всі вектори магнітної індукції мають одне і те ж значення і один напрям. При цьому градієнт магнітної індукції дорівнює нулю. Якщо нерівномірність поля в зоні (об'ємі) впливу не перевищує 30%, то поле вважається однорідним, а якщо перевищує 30% неоднорідним [8]. Практично однорідними вважаються поля в центрі системи котушок Гельмгольца. Такого роду поля широко використовуються при фізіологічних дослідженнях, а в практиці магнітотерапії їх використання обмежене.

Градієнтом магнітної індукції називається вектор, що має числове значення $\frac{\vec{\partial B}}{\partial N}$ і направлений по нормалі \vec{N} до поверхні рівних значень індукції в сторону найбільшого зростання магнітної індукції:

$$\vec{grad} B = \frac{\vec{\partial B}}{\partial N} \cdot \vec{N}. \quad (1.8)$$

Практично градієнт магнітної індукції $\vec{grad} B$ визначається як зміна значень магнітної індукції на одиницю довжини по кожній з координат. Як фізична величина цей показник свідчить про неоднорідність МП. Одиниця виміру градієнта магнітної індукції Тл/м.

Вектор МП вказує напрям дії магнітних силових ліній. При зміні напрямку вектора змінюється характер магнітобіологічного ефекту, що адекватно різній дії північного і південного полюсів постійного магніта. Напрямом вектора напруженості МП у природному середовищі і в постійних магнітах прийнято вважати напрям від північного до південного

полюса. В інших випадках для визначення напрямку вектора МП використовується правило буравчика. Ряд дослідників відзначають більшу активність поперечного МП, тобто в тих випадках, коли вектор МП перпендикулярний поверхні тіла людини, на відміну від повздовжнього поля, при якому вектор магнітної індукції паралельний поверхні тіла пацієнта [8]. Існують штучні МП, що створені локальними джерелами невеликих розмірів, які мають змішаний характер вектора магнітної індукції, що володіє як повздовжньою, так і поперечною складовими. Окрім цього ряд вчених в своїх магнітобіологічних дослідженнях відзначають більшу активність МП з вертикальним напрямом вектора, пояснюючи це взаємодією з геомагнітним полем [5, 61].

Частота МП є важливим параметром. МП поділяють за значенням діапазону частот на **низькочастотні** (до 1000 Гц), **середньочастотні** (від 1 кГц до 1 МГц) і **високочастотні** (понад 1 МГц) [8]. НМП можна розділити на **малочастотні** (МЧМП) (до 100 Гц) і **слабо частотні** (СЧМП) (від 101 до 200 Гц). У лікувальній практиці найбільш часто використовують мало- та слабочастотні МП частотою до 200 Гц. Найбільш дослідженими та ефективними вважаються МЧМП, які відповідають резонансній частоті багатьох структур організму. Впродовж тривалої лікувальної практики встановлені частотні діапазони, в яких магнітобіологічний ефект більш значущий. Наприклад, синхронізація дії МП з частотою альфа-ритму електроенцефалограми людини (8...14 Гц) здійснює істотно сильніший вплив, ніж інші частоти з тією ж інтенсивністю. Частота 12,5 Гц використовується у МТА «Полюс-3», «Полюс-4». Найчастіше в практиці магнітотерапії використовуються синусоїдальні і пульсуючі МП. МТА живляться напругою $U=220$ В від частоти промислової мережі 50 Гц. В магнітотерапевтичних комплексах «Аврора МК-01», «Мультимаг МК-03» передбачена можливість синхронізації дії МП з ритмом пульсу.

Форма МП в часі і просторі. При використанні в якості джерела магнітного випромінювання - індуктора, форма поля в просторі визна-

чається конструкцією самого індуктора, а в часі - формою струму, що протікає. При цьому підсилюється загальна динаміка зміни магнітного потоку, що здійснює терапевтичний ефект.

Постійним магнітним полем (ПМП) є поле, магнітна індукція якого не змінюється в часі. У кожній точці простору вектор МП залишається постійним за значенням і напрямом. ПМП створюється постійним електричним струмом, що протікає по провіднику.

ЗМП утворюється струмами, які змінюються з часом. У ЗМП в кожній точці простору змінюються як значення, так і напрям вектора магнітної індукції відповідно до закону зміни струму. Більшість промислових МТА безпосередньо живляться від мережі змінного струму.

Окремим випадком ЗМП є синусоїдальне магнітне поле (СиМП), яке створюється при живленні індуктора МТА від електромережі або від спеціального генератора синусоїдальних коливань. Таке поле є моногармонічним, його спектр містить одну гармонічну складову.

Пульсуюче магнітне поле (ПуМП) - це змінне поле, в якому вектор магнітної індукції змінюється за значенням, але не змінюється за напрямом. Таке поле утворюється в індукторі при живленні його пульсуючим струмом, наприклад, в результаті одно- або двонапівперіодного випрямлення. ПуМП є полігармонічним, його спектр містить спектр гармонічних складових.

Обертаюче магнітне поле (ОМП) характеризується тим, що вектор магнітної індукції переміщується в просторі відносно поверхні індуктора. ОМП може бути як моногармонічним так і пульсуючим. Створюється ОМП за допомогою трьох- або багатофазних перетворювачів [20]. При цьому індуктори повинні розташовуватися або по колу (при локальній дії), або по твірній циліндра (при загальних впливах). Використання ОМП дозволяє створювати в електролітах направлені електрорушійні сили, тобто забезпечувати направлене переміщення електрично заряджених часток, що у ряді випадків суттєво підвищує ефективність лікування.

Імпульсне магнітне поле (ІМП) формується імпульсним струмом заданої форми. У лікувальній практиці застосовуються різні форми імпульсів як моно-, так і біполярні напівсинусоїдальної, квазіпрямокутної, трикутної і інших форм. Імпульси характеризуються тривалістю, частотою (періодом повторення). ІМП володіють широким частотним спектром і відрізняються більшою біологічною активністю. Ритмічний характер процесів в органах і тканинах і імпульсна терапія узгоджуються, тому вплив ІМП більш ефективний.

Імпульсне біжуче магнітне поле (ІБМП) представляє собою МП, що створене імпульсним струмом, яке переміщується в просторі відносно індуктора. Такі поля називають **змішаними**, оскільки вони мають властивості ІМП та ОМП. Дані поля володіють найбільш великим набором біотропних параметрів та мають високу фізіологічну активність [8]. Відтворити ІБМП можна двома способами: механічним переміщенням джерела МП відносно пацієнта та послідовним перемиканням струмів в групі нерухомих індукторів. В абсолютній більшості МТА ІБМП формується другим способом.

Експозиція - параметр, пов'язаний з часом одного сеансу магнітотерапії і з числом сеансів. Експозиція несе інформацію про час взаємодії живого організму зі штучним МП. Відповідно до традицій класичної фізіотерапії час сеансу встановлюється в межах 10...20 хв щодня в кількості від 10 до 15 процедур. За даними клінічної практики терапевтичний ефект дії МП розвивається після 6...8 процедур, який закріплюється подальшими процедурами [61].

Локалізація дії МП визначається, найчастіше, безпосередньою областю ураження БТ - місцем розташування патологічного органу, а також проекцією ураженого органу на поверхню шкіри. В першу чергу це відноситься до пристроїв локальної (місцевої) дії, яка створюється, як правило, одним індуктором. До числа локальних відносяться впливи на обмежену частину тіла людини, що не перевищує 400 см² [8]. Також

терапевтичний ефект може бути отриманий при дії МП на рефлексогенні зони або біологічно активні точки, що можуть бути віддалені від джерела патології. В свою чергу відбувається реакція організму на терапевтичний вплив, оскільки організм людини складається з тісно взаємодіючих функціональних систем, діяльність яких регулюється центральною нервовою системою.

Розрізняють МТА локальної, розподіленої та загальної дії. За рухливістю магнітного індуктору розрізняють стабільну (магнітний індуктор не рухається та розташований безпосередньо на ураженому органі пацієнта) та лабільну методики магнітотерапії (магнітний індуктор рухається по тілу людини). За контактом магнітного індуктору з БТ розрізняють контактну (прямий безпосередній контакт індуктора з БТ) та дистантну (між магнітним індуктором та БТ є певний проміжок) методики магнітотерапії. У деяких системах магнітотерапії, що дозволяють здійснювати загальний вплив, представляється можливим на фоні просторової рівномірної структури поля формувати локально посилені (ослаблені), а також неоднорідні поля заданої форми. Комплекс «Аврора МК-01» має програмно-апаратні засоби для створення як статичних, так і динамічних полів.

Енергія МП (W) може служити показником, що характеризує дію МП на живий організм. Енергія **W** МП розраховується через його параметри:

$$W = \frac{1}{2} \int_V \frac{B^2}{\mu\mu_0} dV, \quad (1.9)$$

де V – об'єм, що займає біооб'єкт;

B - значення магнітної індукції;

μ - відносна магнітна проникність;

μ_0 - магнітна стала.

На рис. 1.1 представлено розширену класифікацію різних видів, типів та модифікацій МП в магнітотерапії та їх біотропних параметрів з врахуванням напрацювань авторів та проведених нами досліджень [62].

В класифікації виділено і групу випадкових магнітних полів (ВМП), генератор яких був запропонований в роботі [63], вони вже використовуються в медицині та розширили показання для лікувального застосування магнітотерапії. Вважається, що хаотичні МП можуть негативно впливати на організм, викликаючи у здорових людей відчуття дискомфорту, а у хворих - погіршення стану здоров'я. Є підстави стверджувати, що ВМП з рядом заданих характеристик (магнітна індукція, частота і ін.) змінюються відповідним чином впродовж часу. Для підсилення магнітобіологічної активності МП в практиці магнітотерапії використовують наступні методи: комбінації змінного і постійного поля, модуляцію низькочастотних та високочастотних змінних полів, використання, разом з безперервними, переривистих режимів живлення індукторів, синхронізацію з біоритмами людини. Всі ці заходи призводять до посилення динаміки зміни магнітного потоку, що робить взаємодію МП з біоелементами більш активною.

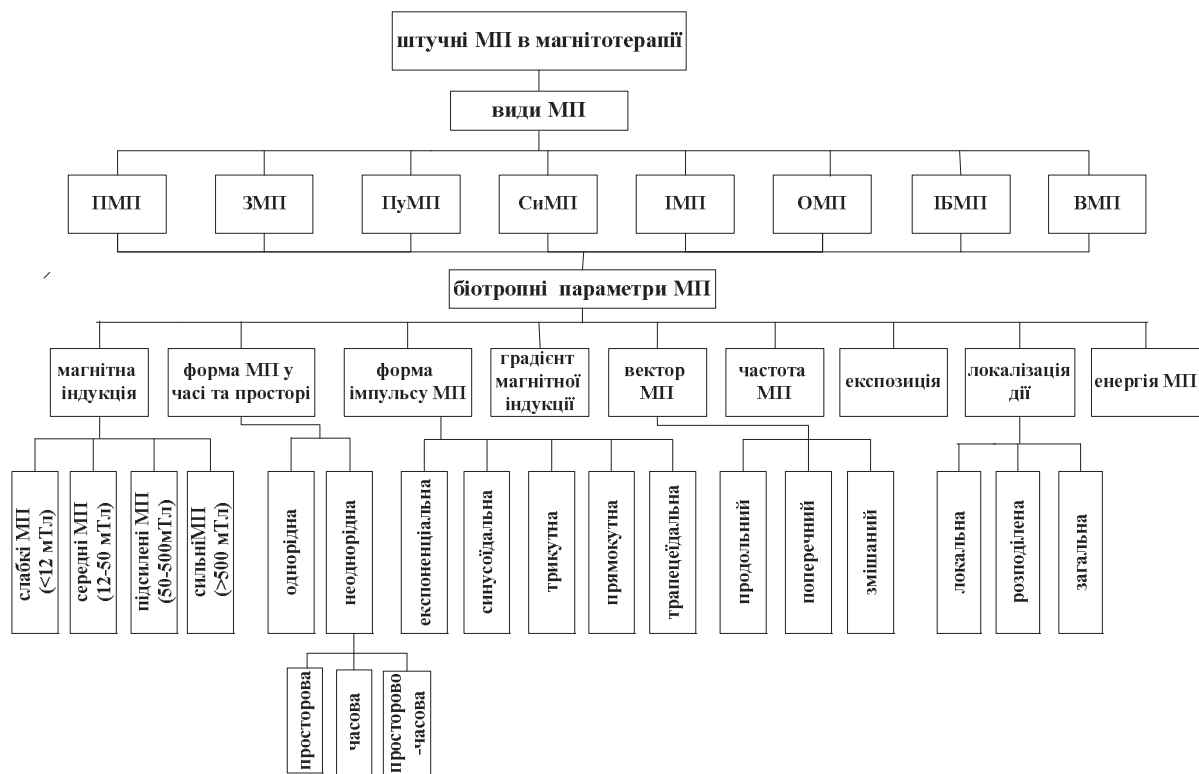


Рис. 1.1. Класифікація МП, що застосовуються в медицині та їх біотропні параметри

1.3. Біофізичні та біохімічні механізми дії магнітних полів

Магнітобіологічні ефекти можуть реалізовуватися через наступні фізико - хімічні властивості живих структур [6]:

- 1) існування вільних радикалів, що взаємодіють з МП;
- 2) зміна швидкості чи механізму дифузії (зокрема, через клітинну мембрану);
- 3) напівпровідникові ефекти в молекулах ДНК та білків в МП;
- 4) зміна ротаційної поляризації молекул, що мають активний центр;
- 5) зміна валентних кутів зв'язку в парамагнітних молекулах.

ПМП впливають на атоми та молекули завдяки діамагнітним і парамагнітним ефектам, а змінні і імпульсні МП, крім того, через електричні струми, що генеруються ними [64].

Існують наступні біофізичні механізми впливу, з врахуванням даних роботи [6], для надслабких та слабких мало- та слабочастотних МП на біологічні системи:

- викликаних струмів;
- пари радикалів;
- резонансу полів;
- біогенних магнетитів;
- стохастичного резонансу;
- зміни напрямку та швидкості біомагнітної взаємодії.

Механізм викликаних струмів вважається основним фізичним механізмом взаємодії НМП і живих організмів. Відбувається генерація електричних полів і струмів усередині БТ при дії зовнішніх НМП. Це пов'язано з тим, що в тканинах завжди є достатня кількість вільних зарядів, які під впливом змінного електричного поля, що виникає при будь-якій зміні МП, приводяться в рух, утворюючи електричні поля та струми. Електричне поле, індуковане в межах організму, збільшується зі збільшенням частоти та величини зовнішнього МП і конкретних зон та розмірів організму,

на які діє МП. При дії електричних струмів відбувається генерація електрорушійних сил в біологічному об'єкті, модуляція збудливості та активності нейронів, руху іонів, поляризаційних процесів в біологічних системах, зміни в клітинах та тканинах.

Механізм пари радикалів пояснює взаємодію НМП і живих організмів. Радикали є атомами чи молекулами, що містять непарний електрон на зовнішній орбіті. При впливі МП на БТ відбувається зміна орієнтації некомпенсованого магнітного моменту вільних радикалів. Внаслідок цього змінюється швидкість дисоціації та рекомбінації вільних радикалів, тобто відбувається зміна швидкості хімічних реакцій, в яких беруть участь вільні радикали, що призводить до активації різноманітних метаболічних та ферментативних реакцій в клітинах організму.

Механізм резонансу полів - це механізм взаємодії, який заснований на тому, що НМП синхронізуються з резонансними частотами організму людини та підсумовуються зі статичним МП Землі. При дії МП на БТ відбувається зсув іонів через мембрани.

Механізм стохастичного резонансу полягає в тому, що при деяких обставинах доповнення малої кількості шуму до великого сигналу входу може дуже збільшувати сигнал на виході і відношення «сигнал - шум» виходу.

З теорії стохастичного резонансу в роботі [65] отримана наступна залежність відношення «сигнал – шум» від рівня шуму:

$$R = \left(\frac{U_1}{U_0}\right)^2 e^{-2\frac{U_0}{D}}, \quad (1.10)$$

де R - відношення сигнал - шум,

D - амплітуда шуму,

U_0 - висота енергетичного бар'єру між різними станами системи,

U_1 - амплітуда сигналу.

Відношення «сигнал - шум» на виході системи при умові оптимального шуму $D = U_0$ досягає максимального значення [65], тим самим прискорюються метаболічні процеси обміну

$$R_{\max} = \left(\frac{U_1}{U_0}\right)^2 e^{-2}. \quad (1.11)$$

Механізм біогенних магнетитів обумовлений взаємодією зовнішніх НМП і частинок магнетиту, виявлених в живих організмах (бактерії, бджоли, риби, птахи, тварини, люди), в тому числі в людському мозку.

Зміна напрямку та швидкості біомагнітної взаємодії обумовлює, як зростання, так і спад енергетичних, інформаційних, дифузних процесів клітинного та молекулярного обміну.

На рис. 1.2 представлено розширену та систематизовану класифікацію біофізичних механізмів впливу НМП на біологічний об'єкт, механізмів лікувальної дії МП та шляхи підвищення терапевтичної ефективності магнітотерапії, з врахуванням наших досліджень [62, 66, 67].

Серед лікувальних ефектів дії МП, представлених на рис. 1.2, найбільш доведеними сьогодні вважаються спазмолітичний, гіпотензивний, загальнозміцнюючий, протизапальний, знеболюючий, седативний, проти-пухлинний та судинорозширювальний.

Розглянемо лікувальні ефекти, завдяки яким реалізуються біофізичні механізми дії МП на БТ з врахуванням роботи [13] та наших досліджень [62, 68].

Ефект Фредерікса - зміна направленості оптичної осі рідиннокристалічних структур.

Ефект Фарадея - придбання оптично неактивною речовиною під дією МП здатності обертати площину поляризації електромагнітної хвилі, що розповсюджується вздовж напрямку поля; реєструється в розчинах електrolітах, нуклеїнових кислот та нуклеопротеїнів.

Ефект Холла - виникнення електрорушійної сили поперечного електричного поля та різниці потенціалів в матеріалах (напівпровідники,

електроліти), по яким протікає електричний струм, при дії МП, перпендикулярного напрямку струму.

Ефект Зеємана - розщеплення енергетичних рівнів атомів речовин, на яких діє МП, що призводить до розщеплення спектральних ліній в спектрах випускання чи поглинання електромагнітного випромінювання, цими речовинами.

Закон Мозлі - емпірично встановлена залежність частоти та довжини хвилі серій характеристичного рентгенівського випромінювання від атомного номера хімічного елемента.

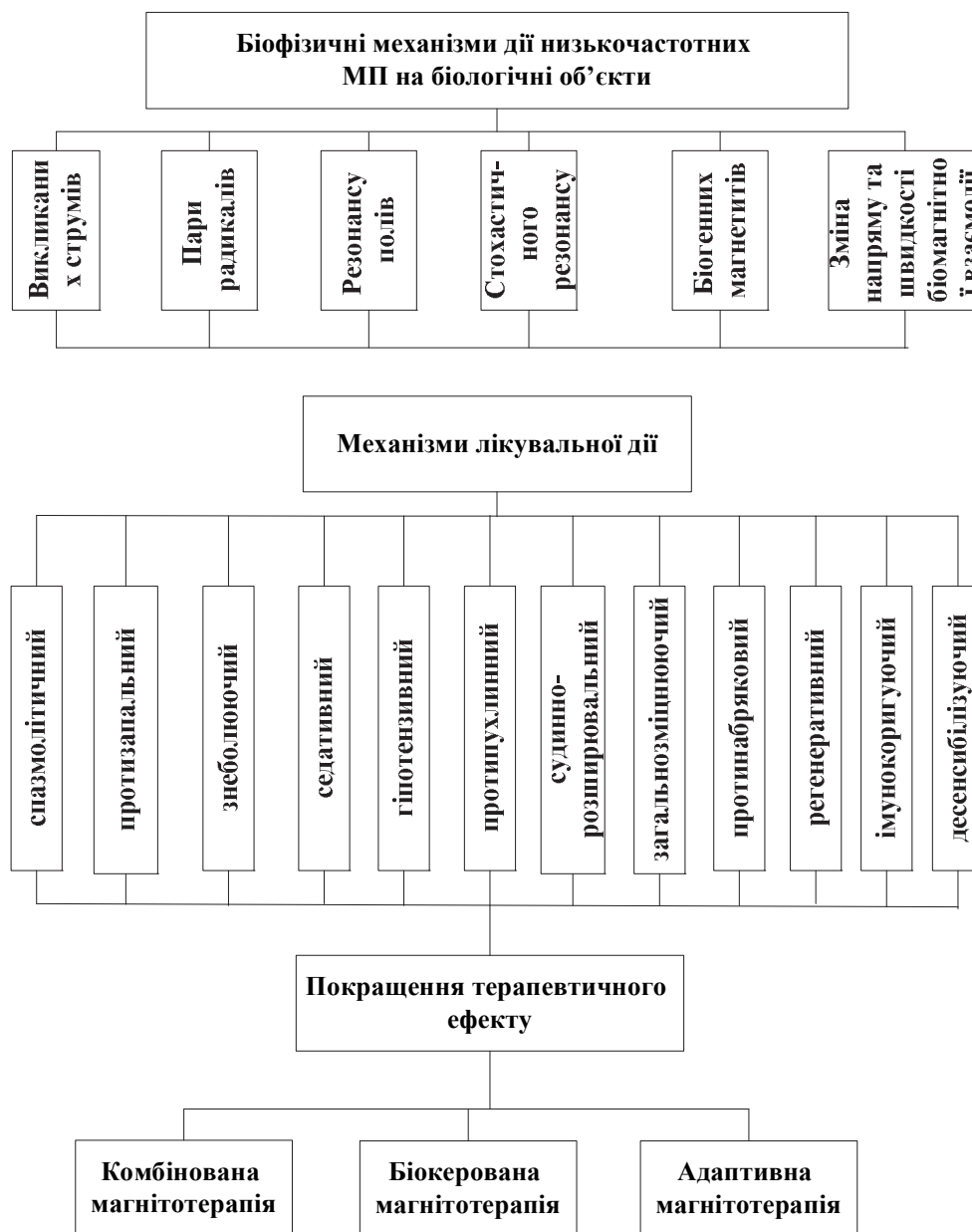


Рис. 1.2. Класифікація біофізичних механізмів та лікувальних ефектів дії МП на біологічні об'єкти

1.4. Фізіологічні та лікувальні механізми впливу магнітних полів на біологічні тканини

Організм людини представляє собою багаторівневу ієрархічну структуру, де виділяють наступні рівні, на яких відбувається взаємодія МП з біологічним об'єктом: **атомно-молекулярний, клітинний, тканинний, органно-системний, міжсистемний, енергетичний та загальносистемний.**

Атомно-молекулярний рівень. До процесів, що відбуваються на атомно-молекулярному рівні в організмі при магнітотерапії, можна віднести [8]:

- взаємодію зовнішнього МП з відповідними акцепторами організму;
- виникнення в біологічних структурах електретного, діелектричного ефектів і реструктурування доменів поляризації;
- конформаційні зміни біоструктур, макромолекул і макромолекулярних комплексів;
- зміну орієнтації рідиннокристалічних структур;
- утворення вільних форм фізіологічно активних речовин і іонів (перш за все іонів кальцію);
- зміну структури і властивостей води, гідратації іонів і молекул;
- електролітичну дисоціацію іонів;
- виникнення електричної сили, струмів провідності і зміщення;
- зміну електричного статусу макромолекул, надмолекулярних і субклітинних структур;
- модуляцію взаємодії білків, які є полівалентними іонами, з пептидами, вуглеводами, нуклеїновими кислотами, малими молекулами;
- резонансні явища (циклотронний резонанс, стохастичний резонанс).

На атомно-молекулярному рівні основну роль відіграють магнітні взаємодії між рухом іонів і індукованими ними постійними диполями. В основі лікувальної дії МП лежить використання його біофізичних ефектів - вплив на «електронну оболонку» атома та зсув електронів на вищі орбіти, тобто накопичення ними енергії. Це змінює рух заряджених частинок

у змінених патологічним процесом біологічних середовищах, відновлює поляризацію молекул, структурує вільні молекули води. Завдяки цьому стимулюються процеси відновлення, загоєння та реабілітації початкового стану тканинних ушкоджень. Механізм дії заснований на зміні енергії хімічних зв'язків в біохімічних процесах за рахунок обміну енергією з МП. МП змінюють вірогідність протікання хімічних реакцій в біологічному об'єкті. Гідрофобні взаємодії є одним зі структуротворних факторів на атомно-молекулярному рівні. Вони відіграють важливу роль у формуванні просторової структури білків.

Клітинний рівень. Ряд авторів [2, 3, 70-74] відводять клітинній мембрані ключову роль в механізмі дії МП на живий організм. Крім клітинних мембран на цьому рівні в механізмах дії МП можуть брати участь: субклітинні структури (наприклад, мітохондрії або рибосоми); структурні утворення, що забезпечують іонну рівновагу в тканинах і тканинній рідині; біополімери, що визначають в'язкість і здатність змінювати агрегатний стан рідких середовищ організму.

На клітинному рівні при дії МП відбуваються наступні процеси [8]:

- зміна конформації і енергетичної активності клітинних мембран;
- підвищення проникності клітинних мембран і модуляція іонних каналів;
- активація окислювально-відновних процесів;
- підвищення реакційної здатності ферментативних систем;
- зміна співвідношення вільного і фосфорилуючого окислення в дихальному ланцюгу мітохондрій, залежно від напруженості діючого МП;
- модифікація структури ліпопротеїдних комплексів мембран еритроцитів та інших клітин, ліпопротеїдів.

Вирішальний вплив на проникність мембрани здійснюють процеси, що розвиваються під впливом МП у водному середовищі. Під дією МП відбувається зміна структури води, що веде до біохімічних ефектів. При дії

МП важливим є обмін речовин через клітинну мембрану. З метою опису механізму дії магнітного випромінювання на біологічний об'єкт на клітинному рівні в [75] приведена індуктивно - ємнісна модель клітини. Відповідно до цієї моделі, система іонних каналів мембрани має індуктивність і ємність, так що кожен іонний канал можна уподібнити відкритому коливальному контуру. На клітинному рівні дія МП може реалізуватися за участю меланоцитів, що містять іони заліза і кобальту і розглядаються як «магніторецептори». Вони можуть ініціювати реакцію кровоносних судин на вплив МП. Реалізація дії МП на клітинно-субклітинному рівні може бути опосередкована впливом його на циклічні перетворення оксиду азоту.

Органно-тканинний рівень. Дія МП на органно-тканинному рівні зумовлюється наступними факторами: особливостями морфології органів і тканин; функціональним призначенням різних органів і тканин; переважачим характером метаболізму в них; вихідним функціонально-метаболічним станом організму і його систем. Зміни на органно-тканинному рівні можуть бути результатом як безпосередніх зрушень, що відбуваються на атомно-молекулярному і мембранно-клітинному рівнях, так і подальшими реакціями організму людини внаслідок залучення нервової, ендокринної та імунної систем.

З численних змін на тканинному і органному рівнях, що визначають біологічну дію МП, перш за все називають такі [8]:

- магнітогідродинамічне (МГД) гальмування циркуляції біологічних рідин як наслідок ефектів Фредерікса і Холла;
- відповідна орієнтація в МП формених елементів крові;
- модуляція протизгортаючої системи крові;
- зменшення внутрішньосудинного пристінкового тромбоутворення;
- зміна перекисного окислення ліпідів і активності антиоксидантної системи захисту;
- збільшення кількості функціонуючих судин мікроциркуляторного русла;

- зменшення інтерстиціального набряку і напруги тканин;
- гальмівний ефект нервової системи на дію ПМП і підвищення збудливості її під впливом ЗМП і ІМП;
- стимуляція еритропоезу і лімфопоезу;
- зміна функціонального стану, обмінних і регенеративних процесів в органах і тканинах;
- модифікація морфофункціональних параметрів біологічно активних точок (точок акупунктури) і ін.

Найбільш значний компонент БТ - вода. Магнітні властивості БТ обумовлені будовою електронних оболонок молекул, які при впливі МП змінюють свій стан, і самі є джерелами МП. Просторова неоднорідність найбільш виражена у ІБМП та викликає в електропровідному середовищі (кров, лімфа) формування МГД сил. МГД сили сприяють транспорту іонів, що збільшує вірогідність їх участі в хімічних реакціях, та орієнтації макромолекул і клітин. Просторова неоднорідність МП приводить до виникнення різнонаправлених механічних моментів під час першої та другої фази коливань МП, в результаті чого підсилюються конвекційні процеси в клітинах, рухомих біологічних рідинах та активується їх метаболізм. Прикладом МГД сили є сила Лоренца, під дією якої змінюється рух іонів в БТ [76]. Так сила Лоренца сприяє збільшенню струмів провідності і, як наслідок, збільшує розсіювання енергії МП в речовині, що пов'язане з електричною провідністю БТ

$$F_{\text{Л}} = qvB \cdot \sin \alpha , \quad (1.12)$$

де q - заряд іона,

v - швидкість руху іона,

α - кут між напрямом руху заряду та МП.

На рис. 1.3 зображена дія напрям векторів дії ЗМП на заряджену частку 1, яка знаходиться в тканині організму 2, де $E_{\text{ВН}}$ - напруженість електричного поля в тканині, B_x, B_y, B_z - проекції магнітної індукції за координатними осями, r - радіус частки.

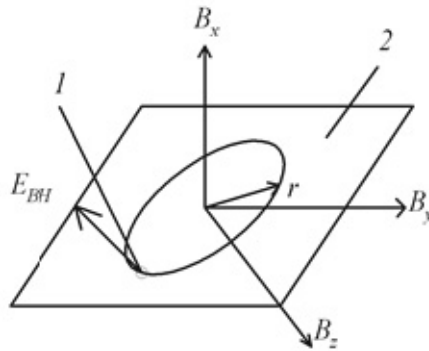


Рис. 1.3. Дія ЗМП на заряджену частку, що знаходиться в тканині організму

На **органно-системному рівні** важливим є тепловий ефект дії МП [77]. Прогрівання внутрішніх органів здійснюється за рахунок теплопровідності зовнішніх тканин і підшкірно-жирової клітковини. Тепло проникає неглибоко і при цьому вмикаються механізми терморегуляції.

Струми Фуко утворюються в струмопровідних тканинах, що містять розчини електролітів. Енергія вихрових електричних струмів перетворюється в теплову. Кількість теплоти, що при наявності вихрових струмів виділяється за одиницю часу в одиниці об'єму тканини, прямо пропорційна квадрату магнітної індукції B , квадрату частоти МП f та питомій провідності σ [77]:

$$Q \approx B^2 f^2 \sigma / (\mu^2 \mu_0^2). \quad (1.13)$$

Вихрові струми використовуються для прогрівання шарів БТ і органів, що веде до загального чи локального підвищення температури ділянки БТ в зоні дії МП. МП можуть викликати зміну спектру коливань іонів усередині макромолекул. Це збільшує можливість перекачки теплової енергії від сусідніх атомів та комплексів в макромолекулі. В результаті можуть відбутися зміни теплової енергії руху іонів, що складають декілька чи навіть десятки відсотків від їх початкової теплової енергії, що рівнозначно зсуву температури до десяти градусів. Підвищення температури в біологічному об'єкті може бути пусковим механізмом для різноманітних реакцій, рівень змін яких залежать від терморегуляторних та метаболічних характеристик організму людини.

Системний рівень. За ступенем чутливості до МП органи і системи біологічного об'єкта розміщуються в наступній послідовності: **нервова система, ендокринні залози, органи чуття, система кровообігу, травна, видільна, дихальна і кісткова системи [6, 78].**

Міжсистемний рівень дії МП на організм людини описує взаємодію між окремими системами організму людини. Схему регуляторних механізмів системи кровообігу представлено на рис. 1.4.

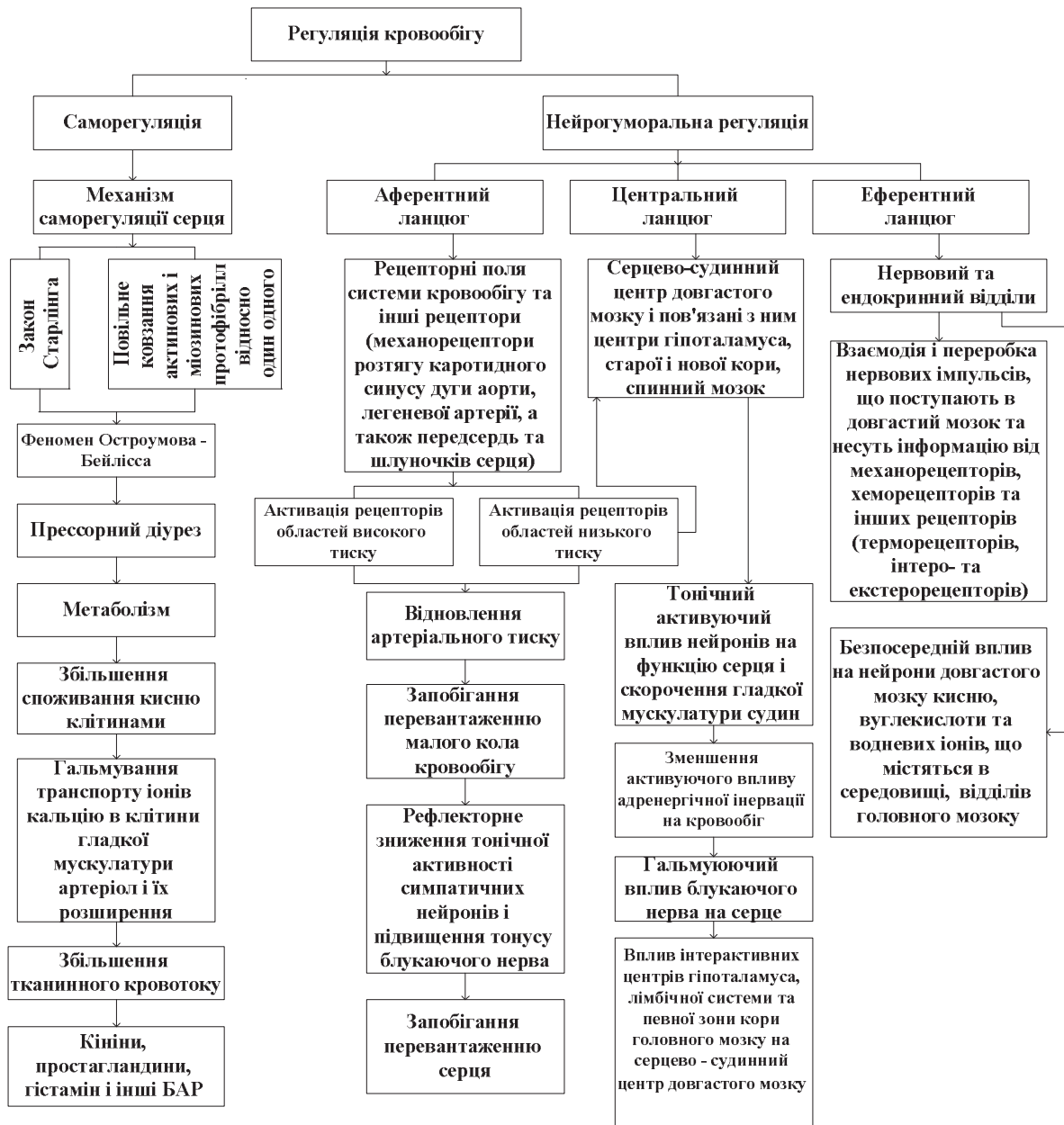


Рис. 1.4. Регуляторні механізми системи кровообігу, де БАР - біологічно активні речовини

Дію динамічного МП на регуляторні механізми системи кровообігу представлено на рис. 1.5 [39].

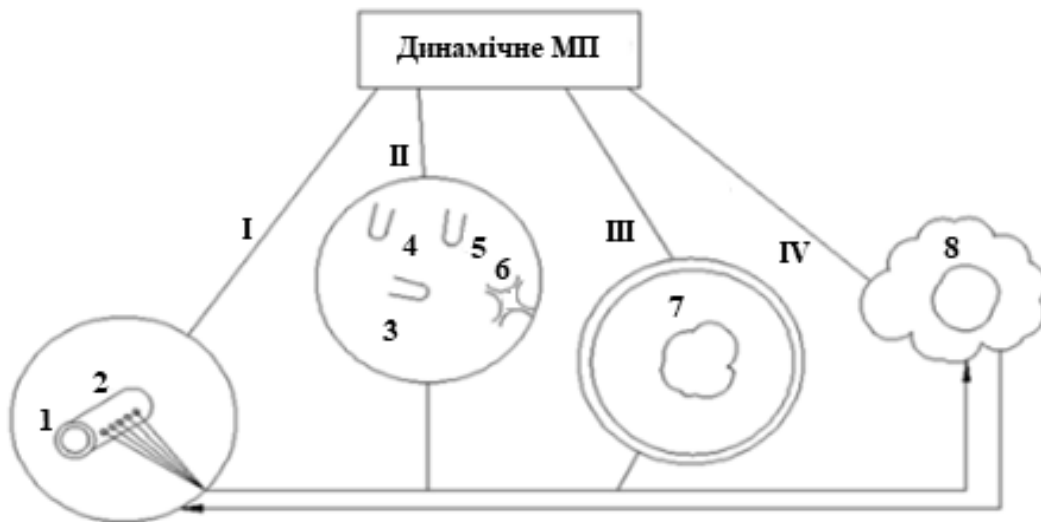


Рис. 1.5. Схема дії динамічного МП на регуляторні механізми системи кровообігу: I-периферійний відділ; II-канал передачі інформації з синаптичними контактами; III-центр обробки інформації 1-го рівня (спинний мозок); IV-центр обробки інформації 2-го рівня (головний мозок- таламічна область): 1- периферійна судина; 2-барорецептори; 3-збудливе волокно; 4-пресинаптичне гальмування; 5-постсинаптичне гальмування; 6-постсинаптичний нейрон; 7-перемикальні нейрони спинного мозку; 8-клітини вазомоторного центру

Енергетичний рівень дії МП на організм людини описує розподіл та взаємодію всіх видів енергії між органами та окремими системами організму людини.

Загальносистемний рівень дії МП на організм людини передбачає інтеграцію взаємодії між всіма системами організму людини. Схему дії МП на живий організм запропоновано П.К. Анохіним [79] та з врахуванням наших досліджень [62] представлено на рис. 1.6. Інформація про зміни відповідних параметрів з периферичних відділів нервової системи передається по доцентровому каналу в регульовальні системи, піддається там обробці і у вигляді «командної» інформації передається відцентровими

каналами, повертаючись на периферію. У разі відхилення будь-якого периферійного параметра, наприклад, зміни артеріального тиску (АТ) в системі кровообігу, центральними регулюючими системами виробляється відповідна «команда», здатна змінити відповідні функції для підтримки та стабілізації фізіологічного процесу.



Рис. 1.6. Схема дії МП на живий організм

Лікувальними ефектами магнітотерапії є [8]:

- імуномодулюючий,
- протиалергічний,
- протизапалювальний,
- трофіко-регенеративний,
- протинабряковий,
- знеболюючий,
- гемокоагулюючий,
- нейротропний,
- гіпотензивний,
- протипухлинний,
- загальнозміцнюючий.

При імуномодуючому лікувальному ефекті важливу роль відіграє дифузна нейроендокринна система (в тому числі і тучні клітини), вплив на функції лімфоцитів. НМП в терапевтичних дозах підвищують вміст у крові лізоциму, комплементу, викликають неспецифічну поліклональну стимуляцію антитілопродукції, збільшення фагоцитарної активності макрофагів і нейтрофілів. В основі **протиалергічного лікувального ефекту** лежить стимуляція імунної системи організму, що проявляється в формі неспецифічної десенсибілізації при алергічних реакціях в організмі людини. Ця дія реалізується на рівні тучних клітин шляхом стабілізації їх мембран і запобігання грануляції з викидом медіаторів алергії (гістамін, брадикінін). Зниження інтенсивності дегрануляції лаброцитів в ході поточної алергічної реакції під дією МП дозволяє зменшити проникність судин, пропотівання плазми через судинну стінку, набряк тканин і, таким чином, значно пом'якшити клінічну симптоматику алергічної реакції. В **проти запалювальному лікувальному ефекті** важливу роль відіграють бактеріостатичний ефект, вплив МП на гормон кортизола, гальмування синтезу простагландинів, покращення мікроциркуляції крові, викид протизапалювальних гормонів, протинабрякова дія МП. Поліпшення мікроциркуляції і підвищення температури під дією МП сприяють проникненню лейкоцитів у тканини, де вони перетворюються в плазматичні клітини, що виконують імунні функції. В основі **трофіко - регенеративного лікувального ефекту** лежить активація внутрішньоклітинної енергетики та пластичних процесів, підсилення катаболізму глюкози і ліпідів на шляху окисного фосфолірування і синтезу білка, стабілізація локального кровообігу, метаболізму тканин, зростання поживних речовин. В **протинабряковому лікувальному ефекті** важливу роль відіграє розширення русла периферичних судин, покращення лімфоциркуляції, активація K^+ , Na^+ насосу клітин, зміна структури та фізико-хімічних властивостей води. Крім того, структура і властивості води, які змінилися під впливом МП, призводять до збільшення гідратації іонів

і зв'язування її різними молекулами, що зменшує фільтрацію рідини і веде до зменшення набряку тканин. На місцевому рівні **знеболююча дія** МП пов'язана зі зниженням чутливості периферичних больових рецепторів і провідності аферентів болю. Чутливість рецепторів інших типів також знижується, про що свідчить неспецифічний протисвербіжний ефект. В основі цих змін лежить вплив фізичного фактора на іонні канали клітин, синаптичну передачу і потенціали дії нейронів. На сегментарному рівні знеболююча дія МП реалізується за рахунок їх впливу на «комірцевий контроль» болю.

Гемокоагулюючий (гіпокоагулюючий) лікувальний ефект проявляється в збільшенні тривалості згортання крові і часу рекальцифікації плазми, зменшення толерантності плазми до гепарину, зменшення концентрації в крові фібриногену. МП в залежності від дозування та інших умов можуть по-різному впливати на виділення коагулогічних активних сполук з ендотелію судин і формених елементів крові, що супроводжується порушенням рівноваги між згортаючою і антизгортаючою системами, зміною показників гемокоагуляції. В основі **нейротропного лікувального ефекту** лежить стимуляція нервових клітин, седативна (гальмівна) дія на процеси в центральній нервовій системі, що клінічно проявляється у покращенні психічного стану людини, мозкового кровообігу, зниженні емоційної напруги. Седативний ефект виражений в найбільшій мірі при загальній магнітотерапії і впливі МП невеликої інтенсивності на області голови і комірцеву зону. В **гіпотензивному лікувальному ефекті** важливу роль відіграють розширення артерій, артеріол, зростання мікроциркуляції крові. Низькочастотна магнітотерапія викликає найбільш виражене зниження артеріального тиску при гіперкінетичному типі кровообігу, при якому воно знижується за рахунок зменшення серцевого викиду. При гіпокінетичному типі кровообігу виникає менш виражена зміна гемодинаміки, яка відбувається за рахунок зменшення периферичного судинного опору. **Протипухлинний ефект** МП є результатом як опосередкованої (через гіпоталамо - гіпофізарну та імунну

системи), так і прямої дії на пухлинний процес. Впливаючи на процеси обміну і синтезу в пухлинних клітинах, змінюючи їх дихання і розподіл, МП можуть викликати безпосередні цитонекротичні зміни в них. При використанні протипухлинного лікувального ефекту успішно використовують вихреві МП, високоінтенсивні МП, магнітні наночастинки. Якщо МП викликає реакцію активації, то протипухлинний ефект комбінованого лікування з його використанням помітно посилюється, а якщо реакцію тренування, то протипухлинний ефект знижується.

Розглянемо особливості використання високоінтенсивних та вихревих МП. На відміну від слабких високоінтенсивні ІМП можуть безпосередньо викликати шкідливу дію на пухлину за рахунок термічних і нетермічних ефектів. Підвищуючи шкірну і судинну проникність, дані поля підсилюють надходження ліків в пухлину і тим самим можуть стимулювати їх специфічну дію. Як і багато інших фізичних факторів, МП можуть підвищувати чутливість клітин пухлини до наступних терапевтичних впливів.

За результатами використання вихревої магнітотерапії можна зробити наступні висновки [8]:

- під впливом загальносистемної магнітотерапії знижується ступінь вираженості ранніх променевих реакцій та загальнотоксичного синдрому при хіміотерапії;

- при магнітотерапії відзначається більш швидка резорбція пухлини і підвищується ефективність хіміопроменевого впливу на регіональні метастази;

- зменшується число післяопераційних ускладнень, скорочуються терміни та об'єми післяопераційних лімфореї;

- відзначається тенденція до нормалізації показників клітинного та гуморального імунітету.

Механізми дії МП реалізуються через дозозалежні специфічні і неспецифічні зрушення реакції при дії МП на всіх рівнях організації організму людини. Вони призводять до підвищення реактивності, оптимізації адаптив-

ного стану і рівня неспецифічної резистентності організму, відновленню функціонального стану його органів і систем.

1.5. Аналіз клінічних досліджень зміни фізіологічних показників організму людини при проведенні процедури магнітотерапії

Накопичується все більше клінічних даних, що об'єктивно та переконливо свідчать про досить високу терапевтичну ефективність магнітотерапії при лікуванні захворювань організму людини. Проведено аналітичний огляд літератури [9, 80-87], в якій відображаються клінічні дані терапевтичної дії МП при лікуванні різних хвороб людини.

Аналіз сучасних клінічних досліджень зміни фізіологічних показників (температури, пульсу, сатурації, АТ) організму людини при магнітотерапії [9, 80-87] показує, що під впливом слабого та підсиленого діапазону МП (магнітна індукція 0,5-50 мТл) нормалізується рівень підвищеного АТ, призупиняється гемодинамічна основа прогресування початкових стадій артеріальної гіпертензії, підвищується температура БТ (температура БТ є важливим параметром оцінки впливу МП на організм людини, так як будь-який патологічний процес приводить до виникнення температурної реакції).

Так, в роботі [9] проаналізовано лікування хворих на артеріальну гіпертензію I ступеня за допомогою МП Д.К. Милославським. Індуктори – соленоїди апарату «Полюс-101» (магнітна індукція 1,5-2 мТл) накладали на шийно-комірцеву зону в положенні хворого лежачи на животі. Час та значення магнітної індукції підбирали індивідуально в залежності від рівня артеріальної гіпертензії, стадії хвороби, клінічних процесів захворювання, магніточутливості пацієнта. В групі хворих на артеріальну гіпертензію I ступеня під впливом МП вірогідно знизився як систолічний артеріальний тиск (САТ), так і діастолічний (ДАТ), відповідно з (147 ± 3) до (124 ± 2) мм рт. ст. і з (85 ± 3) до (78 ± 2) мм рт. ст. ($p < 0,05$). Частота серцевих скорочень у хворих значно

не змінилася (знизилася на 2-3%) ($p < 0,05$). Проведені експериментальні дослідження зміни температури верхніх та нижніх кінцівок показують, що температура збільшується з $(27,1 \pm 0,4)$ до $(28,5 \pm 0,7)$ °C та з $(26,9 \pm 0,6)$ до $(28,3 \pm 0,7)$ °C. На основі проведених досліджень встановлено, що курс магнітотерапії повинен складатися з 12-15 процедур тривалістю 20-25 хвилин. Стійкий гіпотензивний ефект спостерігався на 5-6 сеансі магнітотерапії і досягав піку на кінець лікування, після чого утримувався протягом 2-3 місяців.

Дослідження Г. Г. Кобеця реакції організму на дію МП [80] показують, що при магнітотерапії апаратом «Полнос-1» (магнітна індукція 35 мТл) впродовж 5 хвилин температура БТ підвищується на $1,3 \pm 0,2$ °C, АТ у 90% обстежуваних людей зменшується на 11 ± 5 мм рт. ст., спостерігалася тенденція до зменшення пульсу. За даними капіляроскопії в даному випадку відбувалося розкриття капілярів та збільшувалась швидкість капілярного кровотоку. Проведені в [80] клінічні дослідження дозволили встановити реакцію організму людини на локальний вплив ЗМП.

Результати лікування гіпертонічної хвороби С. Г. Абрамовичем у хворих похилого віку комплексною фізіотерапією [87], що включає загальну магнітотерапію магнітотерапевтичною установкою «УМТИ-3Ф Колибри» та візуальну фотохромотерапію зеленим монохроматичним світлом впродовж 20 хвилин (зона впливу - голова та верхня половина тулуба) показали, що після 2-х тижневого курсу комплексної фізіотерапії САТ знизився на 15% ($p < 0,001$), середній АТ на 10,2% ($p < 0,01$). Після лікування комплексною фізіотерапією хворі на гіпертонічну хворобу суттєво рідше скаржилися на головний біль, серцебиття, дратівливість та втомлюваність. Результати досліджень дозволили зробити висновок про доцільність використання комплексного методу фізіотерапії у похилих хворих гіпертонічною хворобою на поліклінічному етапі відновлювального лікування.

В роботі [86] приведені результати дослідження зміни транскапілярного обміну та мікроциркуляції крові у хворих на хронічну венозну недо-

статність нижніх кінцівок під лікувальним впливом ПМП установкою «ЕЯ». За допомогою оксигенометра «О57» проводили експериментальні дослідження сатурації (насичення гемоглобіну артеріальної та венозної крові киснем). Тривалість процедури та величина магнітної індукції ПМП обиралися в залежності від характеру патологічного процесу та індивідуальних особливостей організму. Результати клінічних досліджень зміни сатурації нижніх кінцівок показують, що у хворих на варикозну хворобу в стадії декомпенсації зменшується сатурація в артеріальній та венозній крові від $91 \pm 1,8\%$ та $70 \pm 1,8\%$ до $90 \pm 1,2\%$ та $64 \pm 1,8\%$ після проведення курсу лікування магнітотерапією, а у хворих на посттромбофлебійну хворобу з набряками збільшується сатурація в артеріальній крові від $94 \pm 0,5\%$ до $96 \pm 0,8\%$ та зменшується сатурація в венозній крові від $50 \pm 2,3\%$ до $39 \pm 1,9\%$ після проведення курсу лікування магнітотерапією.

Приведений аналітичний огляд літератури свідчить про ефективність дії МП. Застосування магнітотерапії в комплексному лікуванні хворих на артеріальну гіпертензію здійснює позитивний вплив на клінічні прояви захворювання, дозволяє нормалізувати рівень АТ, сприяє обміну речовин, знижує потребу клітин та тканин у кисні, здійснює корегуючий вплив на активність антиоксидантних систем та здійснює антикоагуляційну, антиатерогенну, еритропоетичну дію, дозволяє нормалізувати сон, покращити настрій та підвищити працездатність людини. Гіпотензивний ефект магнітотерапії обумовлений позитивним впливом на енергетичне забезпечення насосної функції серця, про що свідчить зменшення частоти пульсу у більшості хворих.

Для досягнення максимального терапевтичного ефекту важливо результати досліджень та досвід клінічного лікування магнітотерапією використати для розробки нових типів апаратів магнітотерапії, що корегують параметри магнітного впливу у відповідності з фізіологічними параметрами пацієнта - МТА зі ЗЗ.

Покращення терапевтичного ефекту дії МП на БТ відбувається шляхом використання комбінованої, біокерованої та адаптивної магнітотерапії (рис. 1.2). Для створення біокерованих апаратів магнітотерапії необхідно визначити індивідуальну магніточутливість організму людини та окремих тканин, органів та систем, електричні властивості БТ та провести моделювання параметрів імпульсів МП з врахуванням селективності дії МП та біологічних ритмів організму людини [88,89]. В 2001 році в роботі В. С. Улащика [88] введено термін біокерована (на принципі ЗЗ в залежності від електричних параметрів біологічної тканини) магнітотерапія. Адаптивна магнітотерапія полягає в оптимізації біотропних параметрів відповідно до стану пацієнта (фізіологічних показників).

1.6. Біомагнетизм та біомагніторецепція

Біомагнетизм - наука, що вивчає МП біологічних об'єктів. МП біологічних об'єктів складаються з трьох компонентів:

- 1) поля, що виникають за рахунок ядерного та електронного магнетизму біоструктур;
- 2) поля, індуковані біострумами, які виникають в живому організмі при його функціонуванні;
- 3) поля, створювані природними мінералами, що мають біогенне походження [13, 90].

Всі структурні елементи речовини є джерелами магнетизму, який виникає внаслідок того, що електрони володіють власним магнітним моментом - спіном. Атом, як ціле, може проявляти магнітні властивості тільки в тому випадку, якщо відсутнє спарювання електронів з протилежно направленими спінами. Атомні ядра та їх складові елементи також є джерелами орбітального (пов'язаного з рухом нуклонів) і спінового ядерного магнетизму. Життєдіяльність будь-якого організму супроводжується протіканням усередині нього дуже слабких електричних струмів – біострумів, які

виникають як наслідок електричної активності клітин, головним чином м'язових та нервових. До цього варто додати виникнення електричних потенціалів і струмів, обумовлених рухом спинномозкової рідини, лімфи, крові та формених елементів. Біоструми, що при цьому виникають, породжують МП. Ферригідрит та магнетит займають, по важливості, особливе місце серед продуктів біомінералізації організму людини. Ферригідрит утворює серцевину залізозапасного білка ферритина. Наявність кристалів магнетиту експериментально знайдено в мозжечку, в середньому мозку, в мозолистому тілі головного мозку, в черепі та в наднирниках людини. Представлення про домени - одне з основних в магнетизмі. Магнітними доменами називаються області магнітного матеріалу, усередині яких намагніченість однорідна та направлена всередині домена в одному напрямку. Сукупність кристалів ферригідрита і магнетиту складують магнітні домени і генерують МП [90].

Вимірювання МП серця і мозку відбувається за допомогою медичних приладів - магнітокардіографів та магнітоенцефалографів. Характер прояву МП записуються у вигляді магнітокардіограми (магнітна активність серця), магнітоенцефалограми (магнітна активність мозку). Вимірювання МП біологічних об'єктів проводиться за допомогою датчиків SQUID - надпровідних квантових інтерференційних датчиків (НКВІД), які були спроектовані в 60-х роках ХХ сторіччя. НКВІД є основною частиною високочутливого магнітометра і в сукупності з відповідними способами магнітного екранування біооб'єкту використовується при проведенні біомагнітних досліджень.

Біомагніторецепція - це механізм (реакція) сприйняття живим організмом впливу зовнішніх МП. Одним з механізмів магніторецепції є наявність у живих організмів магнітних кристалів (ферригідриту та магнетиту). Інший механізм магніторецепції заснований на явищі електромагнітної індукції Фарадея і не потребує наявності магнітних матеріалів. Відомо, що при русі будь якого електричного заряду виникають МП. Виходячи з цього положення, необхідно розглядати в якості потенціальних та реальних

механізмів магніторецепції іонні та електричні струми, генерація яких обумовлена процесами метаболізму в організмі людини [13, 90]. Тканини, органи і системи активно взаємодіють з МП, чим і пояснюються біологічні реакції та клінічні ефекти при магнітотерапії.

1.7. Методи традиційної магнітотерапії

Магнітотерапія постійними магнітними полями - метод локального впливу ПМП за допомогою магнітофорів (магнітоеластів), постійних магнітів чи постійних електромагнітів з ПМП різної форми, що контактено накладаються на певні ділянки тіла пацієнта. Біофізичний механізм дії ПМП на БТ заснований на наведенні електрорушійної сили за рахунок виникнення струмів зміщення, зміні фізико - хімічних властивостей та структури води, гідратації та рухливості іонів, зміні конформації та орієнтації макромолекул, швидкості протікання вільнорадикальних процесів. Особливо велике значення надається впливу ПМП на синглет-триплетні переходи в радикальних парах біологічних молекул [8]. Кожен із вільних радикалів пари, що приймає участь в ньому, має один або кілька неспарених валентних електронів і володіє некомпенсованим спіновим магнітним моментом. МП може змінювати орієнтацію некомпенсованого магнітного моменту вільних радикалів і за рахунок цього суттєво впливати на реакції їх рекомбінації і дисоціації. У пара- і діамагнітних молекулах тканин виникає обертаючий момент, під дією якого вони розташовуються уздовж основних осей обертальної симетрії. В результаті цього змінюються дифузні і осмотичні процеси, колоїдний стан тканин. У рухливих електропровідних середовищах (кров, лімфа, ліквор) при впливі ПМП виникає різниця потенціалів і індукуються струми, здатні викликати різноманітні зрушення в організмі, перш за все в судинах. Наведена електрорушійна сила активує аденозиндифосфат АДФ-індуковану агрегацію тромбоцитів в пошкоджених судинах. У поєднанні зі зниженням електрокінетичного потенціалу клітин

вона призводить до підвищення їх проникності, активації факторів гемокоагуляції та інгібіторів фібринолізу. Поряд з впливом на згортання крові, під дією ПМП виникають струми зміщення, які збільшують проникність судин мікроциркуляторного русла, що призводить до активації транскapілярного транспорту речовин, посиленню метаболізму в тканинах і відновленню їх електролітного балансу. Взаємодія з власними магнітними полями нейронів, що виникають внаслідок поширення нервових імпульсів (їх магнітна індукція приблизно дорівнює $1,5 \times 10^{-11}$ Тл), призводить до зменшення провідності нейронів зі спонтанною імпульсною активністю. Зареєстроване зниження амплітуди постсинаптичних потенціалів на субсинаптичних мембранах під дією ПМП зумовлює переважання гальмівних процесів в корі головного мозку і знижує активність гіпокампу і гіпоталамо-гіпофізарної системи. Певне значення має перебудова рідкокристалічних структур біологічних мембран під впливом ПМП, що змінює їх проникність і електричну активність, а також регуляторно-сигнальну функцію мембранних білків. Магнітомеханічні ефекти можуть впливати на рідкокристалічні структури цитоплазми клітин, які проявляються в індукції фазових гель-золь переходів. Відомо, що під дією ПМП формуються молекули волокон м'язів, мембран клітин, клітин сітківки ока, а також волоконних структур і макромолекул, включаючи нуклеїнові кислоти клітин. Високорієнтовані молекули, які виникають при цьому, змінюють біологічні властивості клітин і можуть взаємодіяти з іншими біоструктурами. ПМП впливає також на структуру і чутливість іонних каналів, що веде до зміни їх функції. ПМП різної інтенсивності викликають зміни струму іонів (особливо іонів кальцію Ca^{2+}) в мембрані, внутрішньоклітинної концентрації кальцію, вольт-амперних характеристик іонних каналів, збільшення часу активації натрієвих та кальцієвих іонних каналів і ін. Клінічні ефекти: слабкий знеболюючий, седативний, протинабряковий, місцевий трофічний, місцевий судинорозширювальний, гіпотензивний (зданість МП змінювати

роботу кальцієвих каналів барорецепторних закінчень), зміна реакції згортаючої системи крові, імуномодуючий, слабкий протизапалювальний, коагулокоригуючий, дегідратуючий. Основними показаннями для постійної магнітотерапії вважаються наступні захворювання і стани: вегетативні полінейропатії, остеохондроз хребта з неврологічними проявами, неврози, вібраційна хвороба, облітеруючі захворювання периферичних судин, посттромбофлеботична хвороба (набрякова форма), артеріальна гіпертензія в початкових стадіях, трофічні виразки і рани, артрити і періартрити, переломи кісток, посттравматичні і післяопераційні набряки, бронхіальна астма (легкий ступінь), хронічний обструктивний бронхіт, ревматоїдний артрит, в комплексному лікуванні деструктивного туберкульозу легень [8, 91-94]. До протипоказань для магнітотерапії ПМП відносяться: індивідуальна непереносимість фактора, ішемічна хвороба серця зі стенокардією III-IV ступені, аневризма аорти, виражена гіпотонія, наявність імплантованих кардіостимуляторів в зоні проведення процедури. Апаратура, що використовується з ПМП: магніти медичні «МКМ-2-1», «МДМ-2-1», «МДМ-2-2», аплікатори листові магнітофорні «АЛМ-1», «АЛМ-2», «АЛМ-3», магнітні кліпси «КМ-1», магнітні таблетки «ТМ», апарат «ПДМТ-01». Основні технічні характеристики такої апаратури: магнітна індукція від 10 до 150 мТл, експозиція 10 - 30 хвилин, кількість процедур 10 - 20.

Низькочастотна змінно-резонансна магнітотерапія (НЗРМТ) - це метод впливу низькоінтенсивним змінним НМП, що здійснюється одним чи двома індукторами, що контактено накладаються на певні ділянки тіла пацієнта та синхронізуються з частотами організму людини. Види НМП: змінне, пульсуюче, обертаюче, імпульсне біжуче. Біофізичний механізм дії МП на БТ заснований на зміні конформації та орієнтації макромолекул, швидкості протікання вільнорадикальних процесів, гідратації та рухливості іонів, наведенні електричних струмів та електрорушійної сили (ефект Холла), зміні фізико - хімічних властивостей води, МГД сили (виникає за рахунок

просторової неоднорідності МП в крові та лімфі та впливає на взаємодію іонів, молекул та клітин, при цьому впливає на здійснення ними своїх функцій; сила Лоренца впливає на слабкі координаційні та Ван - дер - Ваальсові сили, а також ослаблює взаємодію дипольних молекул води між собою, сприяє виникненню мономерів води, що володіють високою фізичною та хімічною активністю (ефект магнітної модифікації води)) та магнітоmechanічній силі (різнонаправлений вплив МП на внутрішньоклітинні молекули, органелли та позаклітинні структури, що відносяться до діа- та парамагнетиків, при цьому виникає направлена орієнтація пара- і діаманітних молекул рідкокристалічних структур тканини в МП (мембрани клітин, цитоплазматичний ретикулум, мітохондрії)) [8, 91-95]. На відміну від ПМП ЗМП індукують різність електричних потенціалів та короткозамкнуті вихреві струми не тільки в рухомих рідинах, а й в тих рідинах, що знаходяться в стані спокою, що є одною з причин більш інтенсивної біологічної та лікувальної дії їх у порівнянні з ПМП. Лікувальні ефекти: вазоактивний (переважно покращення мікроциркуляції крові), трофічний, місцевий знеболюючий, загальнозміцнюючий, протизапальний, протинабряковий, протиалергічний, гіпокоагулюючий. Низькочастотна магнітотерапія показана при наслідках закритих травм головного мозку та ішемічного інсульту, енцефалопатіях, захворюваннях і травмах периферичної нервової системи, вегетативних полінейропатіях, мігрени, фантомному болі, ішемічній хворобі серця, артеріальній гіпертензії I і II ст., облітеруючих захворюваннях периферичних судин, флебітах і тромбофлебітах, запальних захворюваннях внутрішніх органів, переломах кісток, остеомієліті, артритих і артрозах, періартритих, пошкодженнях навколосуглобових тканин, вазомоторних ринітах, ларингітах, трофічних виразках, ранах, сверблячих дерматозах, опіках, псоріазі та інших захворюваннях [8, 91-96].

Протипоказаннями для призначення НЗРМТ є наступні захворювання і стани: виражена гіпотонія, гостре порушення мозкового кровообігу, гострі

психози, діенцефальний синдром, ранній постінфарктний період, наявність імплантованих кардіостимуляторів, індивідуальна непереносимість фактора, кровотеча або підозра на неї. Апаратура, що використовується з НЗРМТ: «Полюс-2Д», «Полюс-3», «Полюс-4», «Полюс-101», «МАГ-30-4», «Магнітер», «Мавр-2», «Градиент 4», «Каскад», «Атос», «Алимп-1», «Колибри». Основні технічні характеристики: ЗМП - магнітна індукція не перевищує 100 мТл, частота 150 Гц, форма коливань синусоїдальна, ПуМП - магнітна індукція в більшості апаратів не перевищує 75 мТл, а частота 50 Гц, ІБМП - в апаратах, як правило, магнітна індукція не перевищує 50 мТл, а частота МП 10-100 Гц, ОМП - магнітна індукція, здебільшого, не перевищує 30-50 мТл, а частота 25-50 Гц, для всіх видів МП експозицію збільшують з 10-15 до 20-30 хвилин, при впливі на декілька полів тривалість процедури магніто-терапії не повинна перевищувати 30-45 хвилин, процедури кожен день чи через день, на курс лікування до 20-25 процедур, при необхідності курс лікування можна повторити через 1-2 місяці [8].

Низькоінтенсивна імпульсна магнітотерапія (НІМТ) - це метод локального впливу низькоінтенсивним імпульсним НМП, що здійснюється за допомогою одного чи двох індукторів, що контактено накладаються на певні ділянки тіла пацієнта. Види низькоінтенсивного імпульсного НМП: пульсуюче, обертаюче, імпульсне біжуче. Біофізичний механізм дії низькоінтенсивного ІМП на БТ базується на наведенні електрорушійної сили за рахунок виникнення струмів зміщення, зміні фізико - хімічних властивостей та структури води, гідратації та рухливості іонів, зміні конформації та орієнтації макромолекул, швидкості протікання вільнорадикальних процесів [13]. Особливості впливу різних видів ІМП: ПуМП дозволяє реалізовувати принцип синхронізації впливу, ОМП у виді постійного направлення зміщення поля дозволяє здійснювати магнітофорез лікарських засобів, ІБМП створює МГД сили в крові та лімфі. Лікувальні ефекти: вазоактивний (переважно покращення мікроциркуляції крові), трофічний, місцевий знебо-

люючий, протизапалювальний, гіпокоагулюючий. Показання та протипоказання для призначення НІМТ аналогічні НЗРМТ. МТА з ПуМП: «Каскад», «Биос», «Магнитер», «Мавр-2». МТА з ІБМП: «Алимп-1», «Атос», «Аврора-МК-01». МТА з ОМП: «Полнос-3», «Колибри», «Эдма», «Магнитотурботрон-2М». Основні технічні характеристики [13]: ПуМП - магнітна індукція в імпульсі від 30 до 75 мТл, частота слідування імпульсів 0,17-30 Гц, тривалість посилок та пауз - по 1,5 с, форма імпульсів напівсинусоїдальна однієї полярності при рівній тривалості імпульсів і інтервалів між ними (сквапність 1:1); ІБМП - магнітна індукція в імпульсі 10-33 мТл, частота слідування імпульсів 10 чи 100 Гц, тривалість посилок та пауз - по 1,5 с, форма імпульсів квазіпрямокутна однієї полярності при рівній тривалості імпульсів і інтервалів між ними (сквапність 1:1); ОМП - магнітна індукція в імпульсі 15 чи 30 мТл, частота слідування імпульсів 12-25 Гц, тривалість посилок та пауз - по 1,5 с, форма імпульсів прямокутна рівнонаправленої полярності, які чергуються, при рівній тривалості імпульсів і інтервалів між ними (сквапність 1:1).

Високоінтенсивна імпульсна магнітотерапія (ВІМТ) - метод локального впливу високоінтенсивним імпульсним НМП, що здійснюється за допомогою одного чи двох індукторів, що контактено або з певним зазором накладаються на ділянку патологічного осередку або його нашкоїрної проєкції пацієнта. Даний метод магнітотерапії дозволяє впливати на глибоко розташовані нервові, м'язові, кісткові структури та внутрішні органи. Велика швидкість зміни індукції МП веде до генерації в структурах організму електричних полів і струмів суттєвої інтенсивності. Біофізичний механізм дії заснований на механізмах викликаних струмів (наведення електрорушійної сили, величина якої залежить від швидкості зміни магнітної індукції), резонансу полів, важливе значення в механізмі дії ОМП має сила Лоренца, яка впливає на проникність мембран, дифузійні та осмотичні процеси, колоїдний стан тканин, окисно - відновні та вільнорадикальні

реакції та вплив на воду [32]. При впливі ІМП високої інтенсивності змінюється заряд клітин, стан її колоїдів, проникність клітинних мембран та гістогематичних бар'єрів. При впливі МП високої інтенсивності змінюється електричний потенціал молекул БТ, в результаті чого суттєво підвищується рівень метаболічних процесів, окисно - відновних реакцій, та вільнорадикального окислення. Біологічна дія ІМП може бути пов'язана з впливом даного фізичного фактору на переходи електронів та вільнорадикальні процеси. МП знижують, зокрема, частоту синглет - триплетних переходів внаслідок розщеплення виродженого триплетного рівня на три підрівні з різною енергією. ІМП впливають на зміни квазікристалічної структури та фізико - хімічних властивостей води, здійснюють вплив на виконання своїх специфічних функцій молекулами білків, нуклеїнових кислот, полісахаридів і іншими макромолекулами, що утворюють з водою єдину систему. Основні клінічні ефекти: знеболюючий, нейростимулюючий, міостимулюючий, вазоактивний, трофічний, протинабряковий. ВІМТ використовується при лікуванні захворювань і травматичних ушкоджень центральної нервової системи, травматичних, запальовальних, токсичних, ішемічних порушеннях периферичної нервової системи, травматичних ушкодженнях опорно - рухової системи, запальовальних і дегенеративно - дистрофічних захворюваннях опорно - рухової системи, хірургічних запальовальних захворюваннях, захворювань бронхолегеневої системи, захворювань серцево - судинної системи, захворювань органів травлення, урологічних захворювань, гінекологічних захворювань [8, 91-94]. Протипоказання для ВІМТ: виражена гіпотонія, системні захворювання крові, схильність до кровотечі, тромбофлебіт, тромбоемболічна хвороба, переломи кісток до іммобілізації, вагітність, тиреотоксикоз і вузловий зоб, злоякісні новоутворення (крім спеціальних методик), гарячкові стани, жовчнокам'яна хвороба, епілепсія (крім спеціальних методик), наявність імплантованого кардіостимулятора, абсцес і флегмони (до розрізу і дренирування порожнин). Апаратура, що використовується з ВІМТ: серії «Сета-Д»,

МТА «Тесламед», «АВИМП», «Биомаг», «АМИТ-01», «АМИТ-02», «АМИСТ-01», «АМТ 2 АГС» «Нейро - МС», «Magstim», «Cadwell MES - 10». Основні технічні характеристики [8]: магнітна індукція від 500 до 1500 мТл, частота імпульсів (0,17 – 130) Гц, тривалість їх - 100-200 мкс, експозиція 5-15 хвилин кожного дня і через день, загальна кількість процедур 10 - 12.

Загальна магнітотерапія (ЗМТ) - це метод магнітотерапії, що заснований на впливі МП на весь організм людини. Особливості ЗМТ [8, 22]: а) зростанням об'єму взаємодії фізичного фактора з БТ, б) можливістю здійснення прямої (безпосередньої) дії на весь організм при малих дозуваннях фізичного фактору, в) більша вираженість специфічних змін при загальних низькоінтенсивних впливах, г) збільшення вірогідності синхронізації діяльності різних систем організму на енергетично вигідних умовах, що сприяє формуванню ефективних захисних реакцій та компенсаторно - пристосувальних процесів. ЗМТ застосовується при лікуванні тих захворювань, при яких важливо здійснювати вплив на загальний стан організму, де необхідні корекції взаємодії між його системами, а також інтенсивний вплив на адаптаційні процеси, загальну і імунологічну реактивність організму. Біофізичні механізми впливу МП на БТ засновані на [8]: а) механізмі вільних радикалів; б) орієнтаційній перебудові рідкокристалічних структур (мембрани, мітохондрії, ліпопротеїни), що володіють анізотропією магнітних властивостей; зміна їх властивостей впливає на клітинну проникність, метаболізм клітин, активний транспорт речовин, функції регуляторних білків; в) виникненні в крові та лімфі МГД сил, що впливають на орієнтацію та переміщення макромолекул та клітин, виконання ними своїх функцій, а також на реологію рідин; г) зміні мембранного потенціалу клітин внаслідок взаємодії МП з зарядженими частинками, керування їх рухом; д) підвищенні іонної активності в тканинах та зменшенні гідратації іонів і молекул, що є передумовою до стимуляції клітинного метаболізму та іонзалежних процесів; е) зміні структури та фізико - хімічних властивостей води, що

впливає на активність багатьох процесів в організмі, що протікають у водній фазі чи за участю даних молекул; ж) індукційних струмах, що виникають в тканинах у відповідності з законами електромагнітної індукції (механізм викликаних струмів). Лікувальні ефекти: спазмолітичний, гіпотензивний, трофіко - регенераторний, протизапалювальний, знеболюючий. Даний метод магнітотерапії використовується при лікуванні облітеруючих захворювань нижніх кінцівок, цукрового діабету при його судинних і інших ускладненнях, а також при метаболічному синдромі, артеріальній гіпертензії, при неврологічних захворюваннях судинного генезу, при дегенеративно – дистрофічних захворюваннях опорно - рухового апарату, урологічних, гінекологічних захворюваннях, тромбофлебіті, посттромбофлебічному синдромі, при численних ранах, що тривалий час незагоюються та трофічних язвах, імунодефіцитних станах, захворюваннях вегетативної нервової системи, запалювальних процесів різної локалізації і механізмів розвитку хвороб, псоріазі, алергодерматозах у дітей, онкологічних хворих. Загальна магнітотерапія при дуже низьких значеннях магнітної індукції (від 6-12 мкТл до 2-3 мТл) ефективна при хворобі Паркінсона, розсіяному склерозі, хворобі Альцгеймера, після струсу мозку, при мігренях, депресивних станах, дисциркуляторній енцефалопатії. Протипоказаннями для загальної магнітотерапії є термінальна стадія пухлинних захворювань, недостатність кровообігу II та III стадії, кровотеча чи підозра на неї, вагітність, системні захворювання крові, виражена гіпотонія, наявність кардіостимулятора чи інших електричних імплантантів. Апаратура, що використовується ЗМТ: «Магнитотурботрон», «Магнитотурботрон 2», «Аврора МК-01», «Магнитор АМП», «Мультимаг МК-03», «АЛМА», «VIOFOR JPS», «VIOFOR MRS 2000», «Bodymag», «R980 Cosmogamma», «Wave Ranger Professional», «Маг експерт», «Бемер 3000». Основні технічні характеристики: магнітна індукція частіше за все від 3 до 5 мТл, здебільшого не перевищує 10 мТл, частоти МП 10-100 Гц, експозиція 20-30 хвилин, загальна кількість процедур 8-20.

Індуктотермія (ІТ) - це метод локального впливу високочастотним ЗМП відповідних параметрів, що здійснюється за допомогою індукторів (індуктор - котушка-диск чи індуктор кабель) над певною ділянкою тіла пацієнта на відстані 1-2 см. Індуктотермія дозволяє терапевтично впливати не тільки на поверхневі, але і на глибоко розташовані тканини та органи. Біофізичні механізми дії МП на БТ [13]: тепловий ефект (тепловому ефекту сприяють струми Фуко; енергія МП високої та середньої інтенсивності перетворюється в теплову енергію за рахунок високочастотних коливальних зміщень білкових молекул і субклітинних структур і суттєвій силі тертя, що виникає при цьому, а також за рахунок механічного руху іонів у в'язкому середовищі), нетепловий ефект (обумовлений електродинамічними змінами в рідкокристалічних структурах та білкових комплексах (електрична поляризація, біоелектретний ефект, виникнення струмів провідності, їх подальшими конформаційними перетворюваннями та всіма подальшими реакціями і процесами). Основні лікувальні ефекти: протизапальний, секреторний, судинорозширювальний, міорелаксуючий, метаболічний, седативний, знеболюючий, антиспастичний, гіпотензивний, бактеріостатичний. Метод ІТ використовується при лікуванні запальних захворювань в подгострій та хронічній стадії, гіпертонічній хворобі I - II стадії, хвороби Рейно, діабетичній ангіопатії, склеродермії, переломах, забоях суглобів, артрозах, остеохондрозі хребта [13]. Протипоказаннями для методу ІТ є гострі гнійні процеси, новоутворення, інфаркт міокарда, хронічна ішемічна хвороба з порушенням ритму, нестабільна стенокардія, недостатність кровообігу II та III ступеня, гіпертонічна хвороба III стадії, системні захворювання крові, активна фаза туберкульозу легень та інших органів, тиреотоксикоз, декомпенсована стадія цукрового діабету, вагітність, наявність металічних тіл в зоні впливу індуктотермії. Апаратура: «ИКВ-4», а також апарати УВЧ терапії з електродами вихревих струмів «УВЧ-30-2», «УВЧ-80-30», «Ундатерм». Технічні параметри апаратів: частота ЗМП 13,56 МГц, 27,12 МГц

та 40,68 МГц, потужність апаратів від 30 Вт до 200 Вт, експозиція 15-30 хвилин, кількість процедур 12-15 [13, 97].

1.8. Особливі методи магнітотерапії

Магнітопунктура - метод рефлексотерапії, що заснований на впливі з лікувально - профілактичними та реабілітаційними цілями МП на точки (зони) акупунктури. Лікувальні ефекти - психостимулюючий, знеболюючий, судинорегулюючий, протизапальний, а крім того стимулює саногенетичні реакції в різних функціональних системах організму. Перед накладенням магнітоеласта або використання магнітних таблеток ділянку шкіри в зоні акупунктурної точки обробляють спиртом або обмивають теплою водою і насухо протирають. Магнітопунктура найбільш показана при лікуванні хронічних захворювань, що супроводжуються больовим синдромом; різних вегетативно-трофічних порушень; артеріальній гіпертензії; запальних процесів різної локалізації; неврозоподібних станів [8]. Застосування магнітопунктури з використанням ЗМП підвищує ефективність попередження і відновного лікування гострих ускладнень після екстракції зубів і відновного лікування після імплантації зубів. Магнітопунктура ЗМП як метод немедикаментозної активації механізмів адаптації оптимізує функціональний стан неспецифічних систем мозку пацієнтів з виразковою хворобою дванадцятипалої кишки, зменшує прояви психовегетативних синдромів, чим опосередковано сприяє регресу симптомів загострення захворювання і рубцювання виразкового дефекту. Магнітопунктура протипоказана при злоякісних і доброякісних пухлинах, гострих гнійних запальних процесах, серцево-судинних захворюваннях, що тяжко протікають, індивідуальної непереносимості фактора, гострих психічних розладах. З великою обережністю рекомендується застосовувати метод вагітним жінкам і людям у віці старше 75 років. Магнітопунктура здійснюється магнітоеластами (магнітофорами), магнітними таблетками, магнітними кліпсами, спеціальними апаратами та пристроями («Адаптон», магнітотрони медичного призначення),

намагніченими кульками. Після зняття магнітоеласта шкіру в області впливу обробляють теплою водою, утеплюють. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 30-55 мТл, експозиція від декількох до 60 хвилин.

Транскраніальна магнітна стимуляція (ТМС) - лікувальний метод з транскраніальним використанням ІМП. Біофізичні основи і механізм дії методу ТМС засновані на впливі високоінтенсивним ІМП на головний мозок і індукванні в ньому імпульсного електричного струму. Як відомо, МП здатне безперешкодно і без змін проникати через будь-які анатомічні структури, в тому числі і через кістки черепа, і впливати на нейрони та інші структури головного мозку. У зв'язку із застосуванням для ТМС ІМП, що змінюється в часі, в тканинах мозку наводиться електричне поле. Зона електромагнітних явищ, що відбуваються, залежить від глибини і площі поширення магнітного імпульсу поля, які визначаються не тільки параметрами МП, а й розмірами, формою і областю розташування індукторів. У сучасних апаратах для ТМС магнітний імпульс поля може поширюватися на глибину 2-3 см і більше, тобто досягати не тільки поверхневої кори, а й підкіркових структур мозку.

Індуковане електричне поле впливає на транспорт іонів через мембрани клітини, діє на рівні іонних каналів. В результаті змінюються метаболізм і біоелектрична активність клітин мозку. Нейрони збуджуються, коли величина індукованого поля досягає певного значення, що залежить від орієнтації потоків електричних силових ліній.

Оптимальна активація нейронів досягається при паралельній орієнтації силових ліній поля до нервових волокон [8]. Для досягнення зовнішнього ефекту стимуляції (наприклад, скорочення м'язів кінцівок) тотальне індуковане поле повинно бути в межах 20-100 В / м.

Мозок є дуже своєрідним органом, здатним генерувати і передавати електричні сигнали від одного нейрона до іншого. За допомогою радіоізотопної сцинтиграфії показано, що при ТМС основними провідниками інду-

кованих електричних сигналів є горизонтально орієнтовані аксони інтернейронів моторної кори.

Нейровізуальні дослідження показали, що при ТМС відбувається активація регенеративного ефекту як безпосередньо на ділянці біологічної тканини під індуктором, так і у віддалених від зони стимуляції структурах мозку, що вказує на наявність трансинаптичних зв'язків та має значення для відновлення міжнапівкульової симетрії [98].

За тривалістю ефекти ТМС можна розділити на кілька типів [8]:

1. Ранні прямі ефекти, що тривають кілька секунд, включають скорочення м'язів кінцівок, зміни деяких когнітивних функцій, які виникають в результаті безпосередньої стимуляції гальмівних або активуючих нейронів.

2. Проміжні ефекти, що тривають не більше доби, являють собою зміни пам'яті, зорового сприйняття, уваги, мови, емоційного знака настрою, концентрації нейроендокринних гормонів.

3. Довгострокові ефекти, що тривають кілька тижнів (до місяця), до яких належать антидепресантний, антиконвульсивний (для низько частотної ТМС) і антиноцицептивний.

За локалізацією при ТМС ефекти поділяють на місцеві (в зоні стимуляції) і віддалені. До останніх можна віднести вплив ТМС на функціональний стан спінальних рухових центрів. На рис. 1.7 представлено, з врахуванням роботи [8] та наших досліджень [33, 35-38], найважливіші лікувальні ефекти ТМС, якими є стимуляція та викликана моторна відповідь (ВМВ).

Переваги методу транскраніальної магнітної стимуляції: широкий спектр фізіологічних і лікувальних ефектів, абсолютна фізіологічність, простота і зручність використання, відсутність дискомфорту у пацієнтів, відсутність больових відчуттів при проведенні магнітної стимуляції, так як інтенсивність індукованого електричного струму недостатня для збудження больових рецепторів, в зв'язку з чим метод може активно використовуватися і у дітей. При ТМС не потрібно попередньої обробки шкірних покривів

і зняття одягу, а можливість проведення впливів за безконтактною методикою дозволяє використовувати метод при наявності у пацієнта відкритих ран, пов'язок, інфекційних процесів.

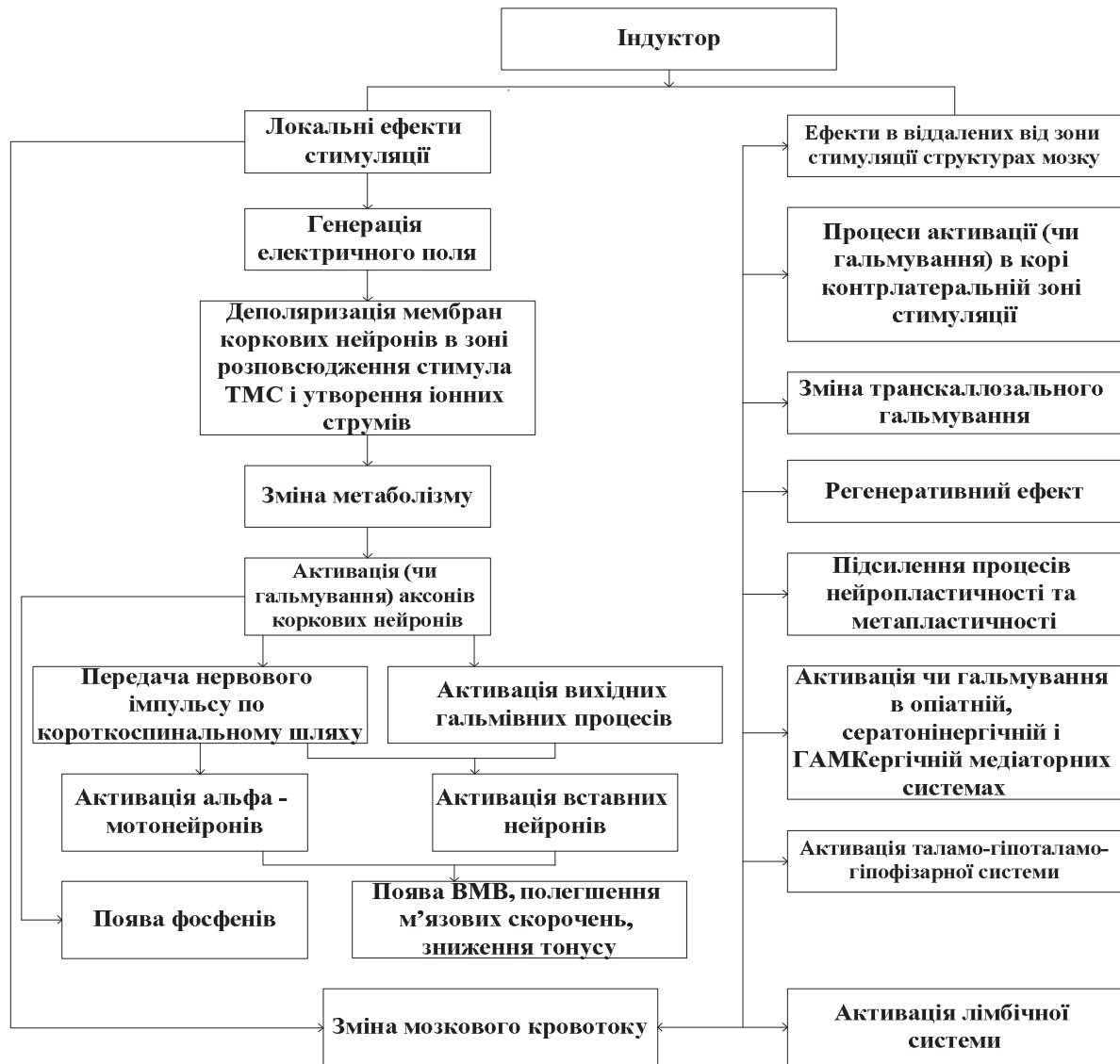


Рис. 1.7. Лікувальні ефекти ТМС

ТМС рекомендується застосовувати при таких захворюваннях і станах [8]:

- 1) цереброваскулярна патологія;
- 2) наслідки перенесеної закритої і відкритої черепно-мозкової травми і травм спинного мозку;
- 3) невропатія лицьового нерва;
- 4) часткова атрофія зорового нерва I-III ст.;

- 5) вертеброгенна патологія;
- 6) поліневропатія;
- 7) дитячий церебральний параліч;
- 8) хвороба Паркінсона;
- 9) шизофренія, обсессивно-компульсивні розлади, маніакальні стани;
- 10) депресія;
- 11) розсіяний склероз, бічний аміотрофічний склероз;
- 12) спіноцеребелярна дегенерація;
- 13) епілепсія;
- 14) больові синдроми;
- 15) алкогольний абстинентний синдром;
- 16) захворювання головного та спинного мозку.

Протипоказання для ТМС включають такі захворювання і стани: злоякісні і доброякісні новоутворення, системні захворювання крові; гострі запальні захворювання, гнійні ускладнення відкритих травм, сепсис, патологія згортання крові, захворювання серцево-судинної системи, наявність імплантованого електрокардіостимулятора в зоні впливу; бронхіальна астма II ст., гормонозалежні форми та інші декомпенсовані стани дихальної системи, тиреотоксикоз і вузловий зоб, вагітність, індивідуальна непереносимість ІМП.

Для ТМС можна використовувати МТА, що генерують високоінтенсивне (1,5 Тл і вище) МП з короткою (100-200 мкс) тривалістю імпульса. Спеціалізовані апарати: апарати серії «Magstim» (Англія), апарати «MagLite» и «MagPro» фірми «Medtronic» (Данія), «Cadwell MES» (США), «Нейро-МС» (Росія) ті інш. На рис. 1.8 представлено стандартну схему магнітного стимулятора для ТМС, яку мають всі сучасні магнітні стимулятори [8]. Потужні конденсатори високої напруги (від 400 В до 5 кВ) заряджаються електричним струмом великої сили (до 20 кА) до необхідного вольтажу. Щоб відбувся розряд стимулятора, тобто для індукції електрич-

ного струму, необхідно направити електричний струм в котушку соленоїда (індуктора), де відбувається генерація МП великої потужності.

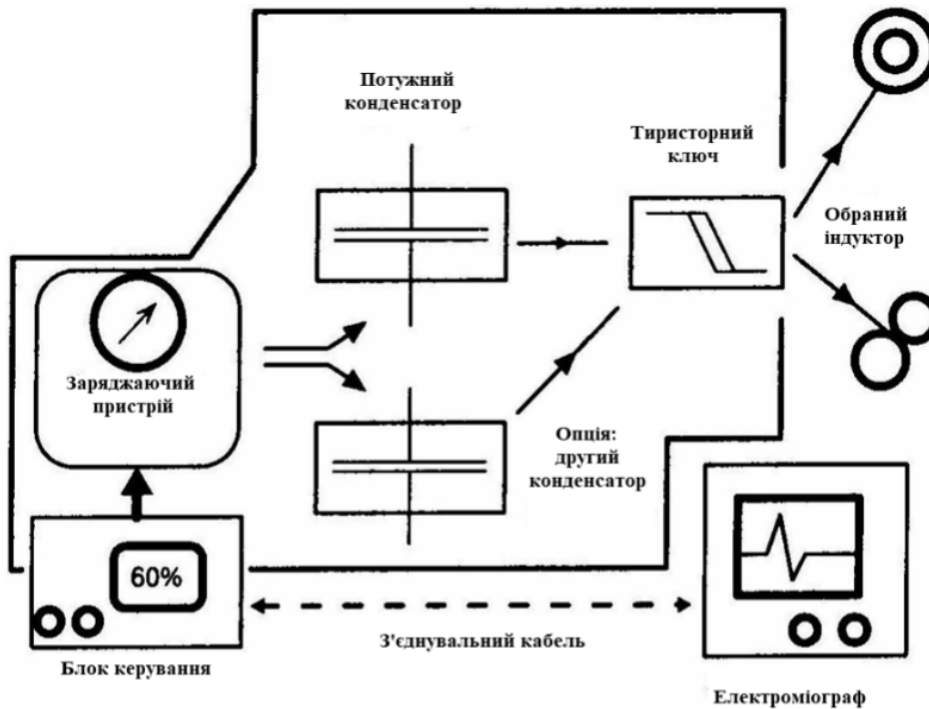


Рис. 1.8. Стандартна схема магнітного стимулятора для ТМС

Із неспеціалізованих МТА для деяких методик ТМС використовують: апарат «Сета-1М», апарати серії «Сета-Д» (Білорусь), а також апарати «АМИТ-01», «АМИТ-02» (Росія). Локалізація впливу визначається характером патологічного процесу, але частіше всього стимулюють рухову і префронтальну зони кори головного мозку. Для ТМС зазвичай використовують напівсинусоїдальні (прямокутні) поодинокі або біфазні, менш часто поліфазні імпульси. Магнітна індукція при ТМС коливається від 1,5 до 2,5 Тл, частота - від 10 до 30 Гц, тривалість імпульсу можна варіювати від 100 до 500 мкс. Тривалість процедури - від 10 до 30 хв. Звичайний курс лікування включає 8-12 процедур. Сучасні апарати для ТМС містять індуктори різної форми, що мають спеціальне призначення.

Глибина проникнення МП прямо пропорційна діаметру використовуваної котушки і силі струму, що проходить через неї.

Магнітна гіпертермія - метод, що полягає у фокусуванні розсіяних

в організмі магнітних частинок в області пухлини і подальшій дії зовнішнім МП певної сили і частоти, здатним викликати нагрівання магнітних мікро- або наночастинок.

Лікувальний ефект: протипухлинний (гіпертермічний). Висока температура, викликана нагріванням магнітних частинок, призводить до руйнування пухлини при підтриманні температури 42 °C і вище впродовж 30 хв. або більше. Даний особливий метод магнітотерапії найбільше розповсюдження отримав в онкології, де він успішно використовується для лікування деяких форм раку.

Практична реалізація методу вимагає рішення двох питань: а) вибір типу магнітних частинок; б) визначення параметрів МП, що забезпечують можливість управління процесом нагріву пухлини. В якості магнітних матеріалів для магнітної гіпертермії зазвичай використовують солі окисів заліза, магнетит Fe_3O_4 і $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ внаслідок їх добрих магнітних властивостей і біологічної сумісності. Для гіпертермії, крім чистого магнетиту, застосовують наночастки магнетиту з доданими іонами гадолінію, за рахунок якого досягається збільшення швидкості поглинання енергії, а також ферит кобальту.

Основними перевагами методу локальної гіпертермії є, по-перше, можливість вимогливого контролю кількості виділеної в процесі гіпертермії теплової енергії і, по-друге, можливість безперервного контролю температури в області нагріву.

В перспективі, на думку В. С. Улащика [8], феромагнітну гіпертермію можна об'єднати з магнітокерованим транспортом ліків, використовуючи навантажені ліками (протипухлинними препаратами) магнітні наночастинки. Такий метод (феромагнітна термoxіміотерапія) може виявитися придатним не тільки для лікування пухлин, але і інших термочутливих патологічних станів, що вказує на перспективність розробки цієї технології в медицині.

Терапія омагніченими розчинами (ендомагнітотерапія (ЕнМТ)).

До числа особливих методів магнітотерапії може бути віднесено омагнічування води, фізіологічного розчину і розчинів лікарських речовин. ЕнМТ наступним чином впливає на організм людини [8]:

- стимулює кровообіг і нормалізує АТ;
- розчиняє камені при нирково - кам'яній і сечокам'яній хворобі;
- нормалізує реологічні властивості крові, перешкоджаючи тромбоутворенню;
- нормалізує роботу кишківника;
- в косметології уповільнює старіння шкіри, випадіння волосся;
- здійснює загальнозміцнюючий вплив на організм;
- запобігає карієсу, припиняє кровоточивість ясен, сприяє видаленню зубного каменю;
- підвищує ефективність лікування ран шкіри, деяких дерматологічних захворювань.

У більшості випадків омагнічування покращує фармакотерапевтичні властивості лікарських речовин, що дозволяє зменшувати витрати препаратів і знижувати їх побічну дію. Виразність і спрямованість впливу МП на фармакотерапевтичні властивості ліків залежить від багатьох факторів: інтенсивності МП і тривалості омагнічування, складу розчинника, властивостей ліків, концентрації МП в розчині і т.п. Більш перспективним для клінічної медицини є створення магнітних (магнітокерованих) лікарських речовин, особливо на основі нанотехнологій [8].

Основні показання для терапії омагніченими розчинами [8]: неврози, стреси, депресія, головний біль, запаморочення, профілактика дисфункцій шлунково - кишкового тракту, запальовальні захворювання порожнини рота, ясен, мигдалин, кровоточивість ясен, зубний наліт органічний і мінеральний, запальні захворювання порожнини носа і його придаткових пазух, профілактика грипозного риніту, рани, опіки, трофічні виразки, пролежні, неспецифічні запальовальні захворювання шкіри, запальні захворювання

стравоходу, шлунку, 12-палої кишки, запальні захворювання слизових оболонок жіночих статевих органів, запальні захворювання прямої кишки, геморої, коліт, дистонія, запальні захворювання пальців рук і ніг, старіюча шкіра обличчя, профілактика дисфункції нервової і серцево-судинної системи під час магнітних бур, підвищення ефективності світлотерапії, лазеротерапії, акупунктури, масажу, запори, застійні явища в товстому кишечнику, нормалізація імунітету, гостра кропив'янка.

В ЕнМТ застосовується МТА «УниСПОК», до якого додається індуктор «ІАМВ-9», призначений для омагнічування фізіологічного розчину [8]. Індуктор являє собою циліндр, в середину якого поміщається скляна або пластмасова ємність з розчином, що піддається омагнічуванню. З лікувально - профілактичними цілями використовують омагнічені фізіологічні розчини, розчини для інфузійної терапії, рослинні настої та відвари, мінеральну воду, натуральні соки. Підвищена активність омагніченої води та розчинів зберігається впродовж доби. Способи застосування омагнічених рідин: пиття, полоскання, промивання, аплікація, клізми, ванночки. Експозиція: від 1 тижня.

Гемомагнітотерапія (ГеМТ). Основу ГеМТ становить взаємодія МП з кров'ю і фізико-хімічні та інші зміни, які відбуваються в ній та можуть привести в подальшому до біологічно значимих реакцій. Кров представляє собою особливий інтерес для впливу фізичними факторами. Наявні відомості про електричні і магнітні властивості крові і її компонентів вказують на принципову можливість їх взаємодії з магнітними і електромагнітними полями [8]. Взаємодія МП може відбуватися через елементи і структури крові, що володіють власними МП, або особливими магнітними властивостями. До їх числа можна віднести: вільні радикали, що утворюються в крові; гемоглобін і інші металопротеїни, які виконують важливі біологічні функції; рідкокристалічні речовини смектичного типу, до яких належать ліпіди, що входять до складу багатьох структур (мембрани, мітохондрії),

які відіграють важливу роль в життєдіяльності організму; вода, молекули якої здійснюють різні коливальні активаційні рухи.

Лікувальні ефекти ГеМТ: імуностимулюючий, дезінтоксикаційний, антикоагулянтний, ліпотропний, протизапальний і метаболічний. Метод ГеМТ покращує макро- і мікрореологію крові, мікроциркуляцію і регіонарну гемодинаміку, постачання тканин киснем, стимулює еритропоез і підвищує рівень гемоглобіну в крові, позитивно впливає на функціональний стан органів та систем організму.

ГеМТ використовують при лікуванні таких захворювань [8]:

- ішемічні хвороби серця та мозку;
- артеріальна гіпертензія I-II ст.;
- цукровий діабет 1-го та 2-го типу;
- ревматоїдний артрит;
- облітеруючі ураження периферичних судин;
- гнійно-септичні захворювання;
- гострі ендо- та екзотоксикози (в комплексі з гемосорбцією і гемодіалізом).

Протипоказаннями для ГеМТ вважаються тромбоцитопенія і тромбоцитопатія, гіпокоагуляційні стани, кровотечі будь-якої етіології і високий ризик геморагічного синдрому, гостра серцево-судинна недостатність, хронічна недостатність кровообігу II та III ст., злякисні новоутворення та онкогематологічні захворювання, вагітність, гострі інфекційні захворювання, індивідуальна непереносимість фізичного фактора.

Розрізняють екстракорпоральну і черезшкірну ГеМТ. Для обох видів впливу на кров МП застосовується апарат, який випускається серійно: «Магномед», МТА «ГемоСПОК», що комплектується спеціальними індукторами для трансдермальної (індуктор ІАМВ-7, Євразійський патент №000495, рис. 1.9) і екстракорпоральної (індуктор ІАМВ-4, Євразійський патент №000494, рис. 1.10) гемомагнітотерапії [8]. Апарат є джерелом

ПуМП частотою 40-160 Гц, модульованого частотою 10 Гц. Середнє значення магнітної індукції дорівнює 100 мТл.

Для черезшкірної ГеМТ можуть використовуватися будь-які МТА, які є джерелом МП з індукцією не менше 50 мТл.

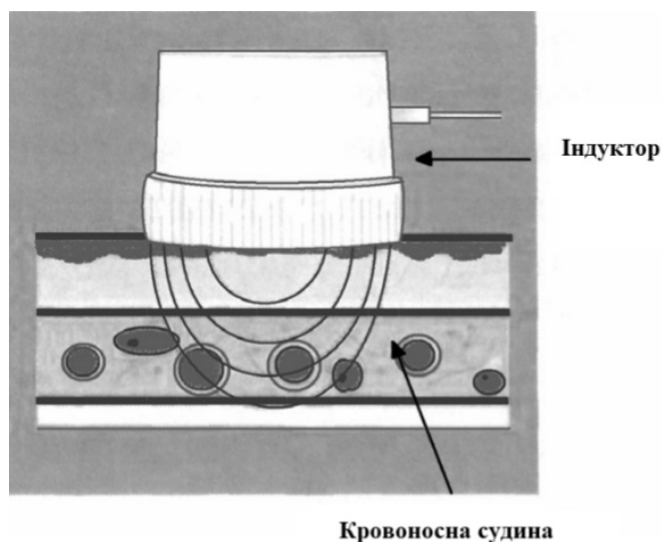


Рис. 1.9. Індуктор «ІАМВ-7» для трансдермальної гемагнітотерапії

При екстракорпоральній ГеМТ здійснюється вплив на кров, що циркулює в екстракорпоральному контурі кровообігу. Процедура проводиться при розміщенні пацієнта на ліжку в горизонтальному положенні. Вплив МП здійснюють в безперервному або імпульсному режимі при наступних дозиметричних параметрах: магнітна індукція - 10 - 100 мТл, частота 10 - 100 Гц, тривалість сеансу 10 - 30 хв. На курс призначають 3-5 процедур, що проводяться через день.

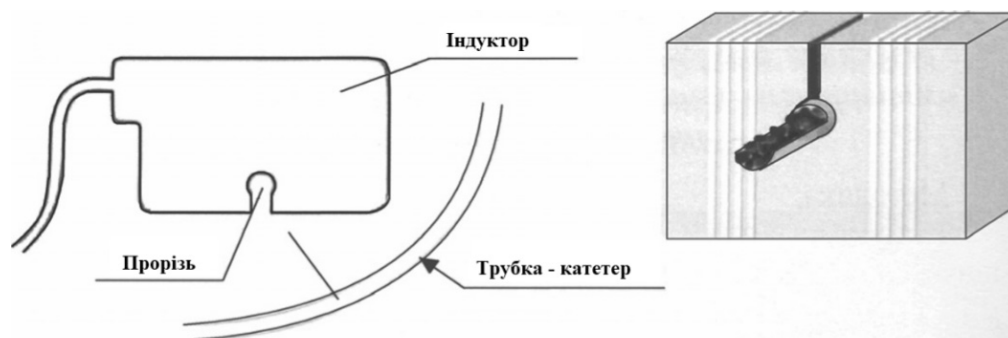


Рис. 1.10. Індуктор «ІАМВ-4» для екстракорпоральної ГеМТ

При чрезшкірній ГеМТ при приблизно таких же дозиметричних параметрах (магнітна індукція 50-100 мТл; частота 10-100 Гц; тривалість - 20-60 хв; 5-8 процедур на курс лікування) проводять вплив МП на область тіла з найбільш поверхневим розташуванням кровоносних судин (область ліктьового згину). При проведенні процедури слід уникати надмірного здавлювання індуктором судин, яке буде ускладнювати кровотік і зменшувати обсяг омагніченої крові.

1.9. Методи поєднаної та комбінованої магнітотерапії

Поєднана магнітотерапія (ПоМТ) передбачає одночасний вплив двома та більше фізичними факторами на одну і ту ж ділянку тіла пацієнта.

Комбінована магнітотерапія (КМТ) передбачає послідовну (різночасову) дію фізичними факторами, які можуть застосовуватися в один день з варіантами:

а) послідовне, близьке до поєднаного (один вплив слідує зі іншим без перерви);

б) з часовими інтервалами.

Комбінування включає дію фізичними факторами в різні дні (за методикою чергування) впродовж одного курсу фізіотерапії, а також курси фізіотерапевтичних процедур, що змінюють один одного [13].

Комплексне використання дії фізичних факторів базується на знанні синергізму або антогонізму лікувального впливу фізичних факторів та виникаючих при цьому біологічних реакцій і клінічних ефектів.

Розглянемо основні методи ПоМТ та КМТ.

Магнітолазерна терапія (МЛТ) - один з найбільш розповсюджених методів ПоМТ, що полягає в одночасному впливі низькоінтенсивним лазерним випромінюванням та ПМП з лікувальною та реабілітаційною метою. Енергія низькоенергетичного лазерного випромінювання руйнує міжмолекулярні зв'язки, а ПМП сприяє цій дисоціації, більш глибокому проник-

ненню в тканини магнітолазерного випромінювання та одночасно запобігає рекомбінації іонів при поєднаній дії даних фізичних факторів. В біофізичному механізмі дії магнітолазерного випромінювання важливе значення має фотомангітоелектричний ефект Кікоїна - Носкова – це виникнення електро-рушійної сили в напівпровіднику, на який діє ПМП, також реалізується ефект Зеємана [99]. Переваги магнітолазерного випромінювання у порівнянні з лазерним [13]: здійснює більш виражену протизапалювальну та знеболіючу дію, сприяє більш глибокому і в більшій кількості надходженню в організм лікарських речовин, що наносяться на шкіру, потенціює та суттєво пролонгує судинорозширювальний ефект, прискорює (в 1,2-1,4 рази) зникнення набряку та повне загоєння ран. Лікувальні ефекти: трофічний, знеболіючий, імунотрофічний, гіполіпідемічний, трофіко - регенеративний, антиспастичний, антиоксидантний, антигіпоксичний. На рис. 1.11 представлено механізми МЛТ з врахуванням роботи [8] та наших досліджень [62].

МЛТ використовується в хірургії, травматології і ортопедії, стоматології, терапії, в неврології, акушерстві, гінекології, дерматології, в реабілітаційній терапії та при лікуванні інших захворювань. Протипоказаннями для МЛТ вважаються стадії онкологічних захворювань, вагітність, печінкова і ниркова недостатність в стадії декомпенсації, судомні стани, системні захворювання крові, хронічні серцево-судинні та ендокринні захворювання, гарячковий стан нез'ясованої етіології.

Апаратура для МЛТ: апарати «МІТ-11», «МІТ-МТ», серій «Милта», «Рикта», «Снаг», «Сенс». Основні технічні параметри МЛТ: магнітна індукція 20-150 мТл, частіше всього магнітна індукція 20-25 мТл, довжини хвиль лазера лежать в діапазоні 0,65-1,2 мкм, потужність магнітолазерного випромінювання від 2 до 100 мВт, густина лазерного випромінювання 5-10 мВт/см², експозиція 5-10 хв. при впливі на одну ділянку, 15-20 хв. при впливі на декілька ділянок, кількість процедур 8-12, рідше 16-20, які проводяться кожен день або через день.

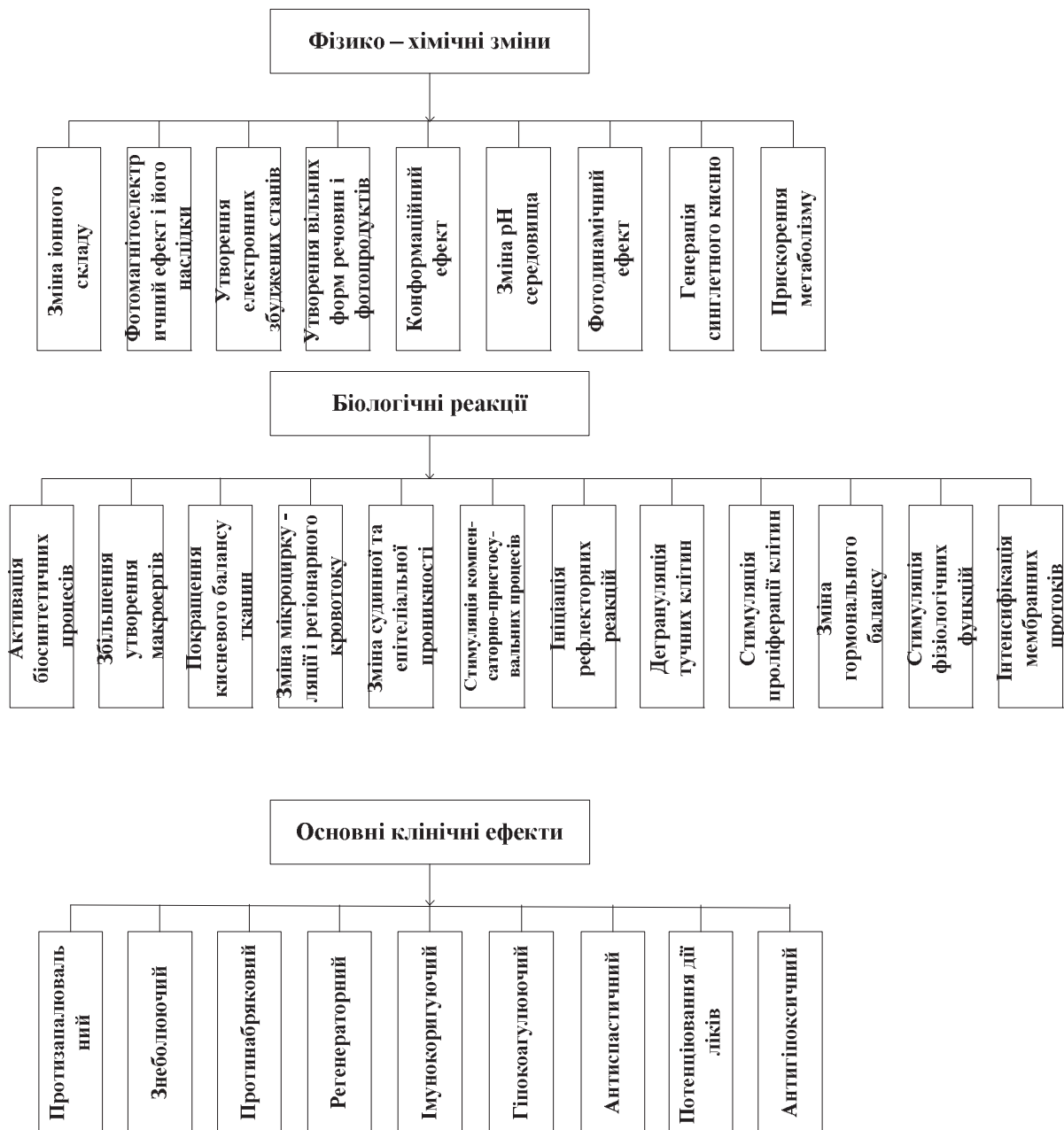


Рис. 1.11. Механізми МЛТ

Термомагнітотерапія (ТМТ) - поєднаний вплив на організм пацієнта МП та тепла. Лікувальні ефекти: трофіко - регенеративний, знеболюючий, імуномодулюючий, протинабряковий, протизапалювальний, седативний, гіпотензивний, спазмолітичний. ТМТ рекомендується при артеріальній гіпертензії, нейроциркуляторній дистонії, ішемічній хворобі серця, гострому нефриті, облітеруючих захворюваннях периферичних артерій, вібраційній хворобі, захворюваннях і травмах центральної і периферичної

нервової системи, захворюваннях і травмах суглобів і хребта, остеопорозі, дерматозах і інших захворюваннях [8, 32, 100, 101]. Протипоказання для призначення ТМТ: злоякісні новоутворення, системні захворювання крові, захворювання серцево-судинної системи в стадії декомпенсації, кровотечі або схильність до них, епілепсія з частими нападами, рецидивний тромбофлебіт. Апаратура для ТМТ: «АТМТ-01 «Фаворит»», «АТМТ-01 М». Апарат «АТМТ-01М» складається з джерела живлення, генератора спеціальних сигналів для індукторів мікропроцесорного контролера, системи керування нагрівом та контролем температурного режиму. Контролер забезпечує часовий режим роботи, сигналізацію про роботу індукторів, термоелементів та електронного блоку. На передній панелі електронного блоку розташовані органи керування та табло індикації. Є додаткові можливості у МТА «АТМТ-01М» в порівнянні з МТА «АТМТ-01»: можливість під час загальної ТМТ підсилювати МП в області патологічного осередку та синхронізація з ритмом серця. МТА «АТМТ-01М» містить набір індукторів: вагінальний ($B_{\max}=15$ мТл), урологічний ($B_{\max}=15$ мТл), поверхневий для використання в дерматології та косметології ($B_{\max}=35$ мТл), суглобні ($B_{\max}=35\pm 5$ мТл), хребтовий ($B_{\max}=35\pm 5$ мТл), загальної ТМТ, який виконаний у виді ковдри ($B_{\max}=5\pm 0,5$ мТл). Основні технічні характеристики: амплітудне значення магнітної індукції в центрі робочої поверхні індукторів апарату «АТМТ-01 Фаворит» на максимальній потужності сигналів при одночасній роботі всіх індукторів (15 шт) не менше 5 мТл, при секційному включенні індукторів «АТМТ-01 Фаворит» (по 3 шт.) не менше 25 мТл, кількість видів імпульсів струму, що подається на магнітні індуктори 8, частота 10-800 Гц, температура термоковдри 20-45 °С, експозиція 15-20 хвилин, кількість процедур 8-12.

Фотоманітотерапія (ФМТ) - поєднаний вплив МП та світла на біологічний об'єкт. В біофізичному механізмі дії фотоманітного випромі-

нювання важливе місце належить магнітофотоелектричному ефекту Кікоїна - Носкова - це виникнення електрорушійної сили в напівпровіднику, на який одночасно діє МП та світло (набагато потужніша ця електрорушійна сила ніж при дії тільки світла). Енергія квантів світла руйнує слабкі міжмолекулярні зв'язки, а МП сприяє цій дисоціації та одночасно перешкоджає рекомбінації іонів в процесі одночасного впливу. МП надають певну орієнтацію дипольним молекулам, виступають в ролі своєрідного поляризатора, що сприяє більш глибокому проникненню оптичного випромінювання в тканини, поліпшенню його поглинання [8]. Ефект Зеємана, що виникає при дії МП, суттєво впливає на механізми поглинання та дії світла. Лікувальні ефекти: знеболюючий, трофіко - регенеративний, імуномодулюючий, імунокоригуючий, протизапалювальний, гіпотензивний, протинабряковий, антиспастичний, седативний. ФМТ стимулює біосинтетичні процеси і утворення багатих енергією фосфатів, підсилює регіонарний кровообіг і мікроциркуляцію, покращує реологічні властивості крові, підвищує кисневий баланс тканин, впливає на синтез і стан в тканинах фізіологічно активних речовин, покращує функціональний стан різних органів і систем, підвищує тонус і резервні можливості організму. Механізми ФМТ з врахуванням роботи [8] та наших досліджень [62] представлено на рис. 1.12.

Основні показання для ФМТ:

- у травматології і ортопедії;
- у дерматології;
- у хірургічній практиці;
- у гінекології;
- в урології;
- при захворюваннях внутрішніх органів;
- у спортивній медицині;
- в косметології.

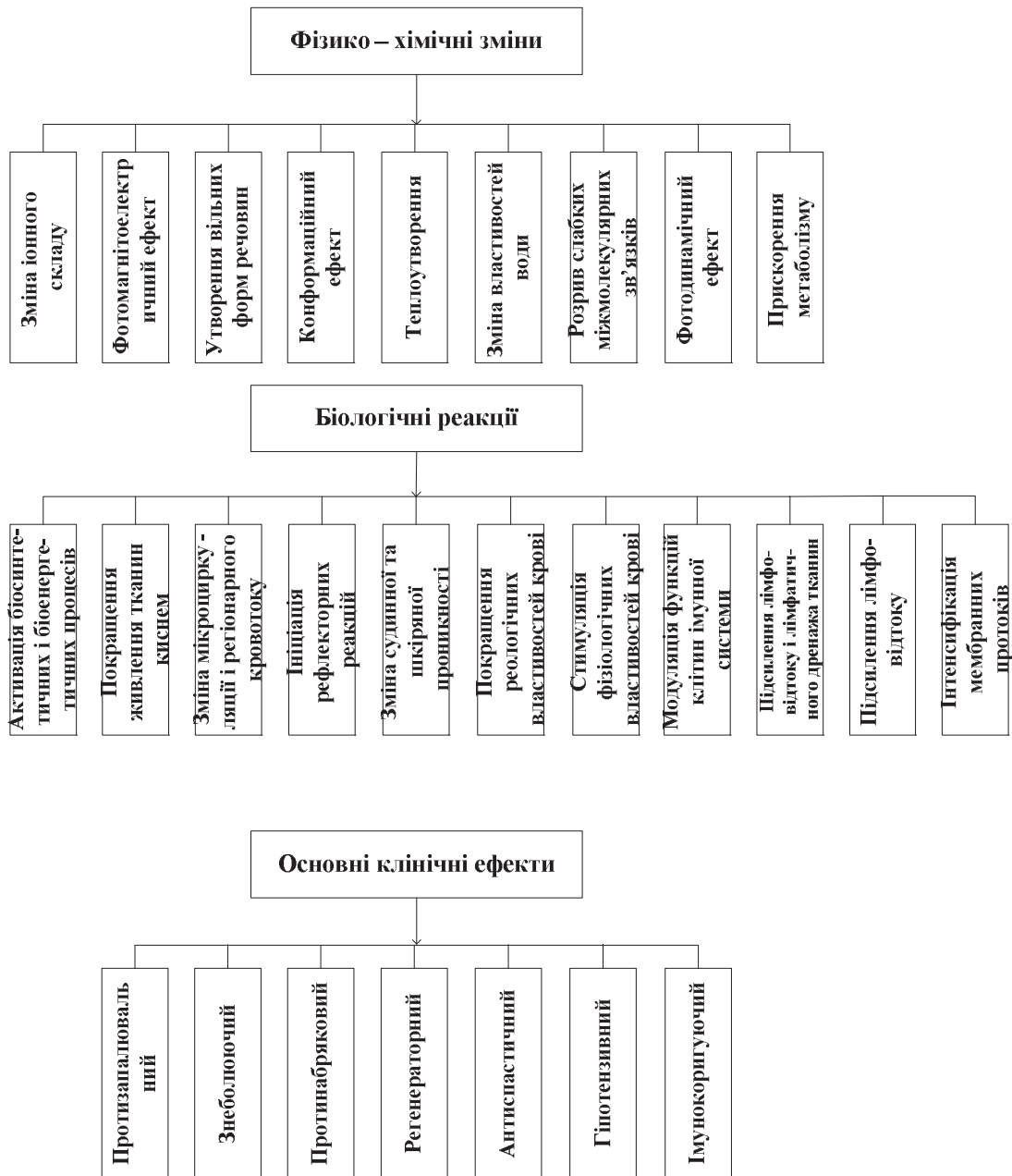


Рис. 1.12. Механізми ФМТ

Основні протипоказання для ФМТ:

- важкі форми захворювань серцево-судинної, нервової, ендокринної та інших систем організму;
- гострі і гнійні запальні процеси будь-якої локалізації (до хірургічного розтину);
- злоякісні новоутворення (крім спеціальних і реабілітаційних методик) і підозра на їх наявність;

- доброякісні новоутворення, гормонально-активні пухлини у жінок в стадії росту, або які потребують хірургічного лікування;

- важка кахексія;
- системна червона вовчанка;
- складні і важкі порушення ритму серця;
- епілепсія з частими нападами;
- кровотечі або схильність до них;
- фотодерматит, фотоерітема;
- індивідуальна непереносимість факторів методу;
- тривалий професійний контакт з фізичними факторами методу;
- наявність кардіостимулятора у пацієнта.

Апаратура ФМТ: серії «Геска», «ФотоСПОК». Основні технічні характеристики: вихідна потужність 1,5-4,5 мВт, густина потоку потужності 0,6-3,5 мВт / см², магнітна індукція до 15 мТл, 15-20мТл, 25±5 мТл, 50 мТл, частота МП 40-160 Гц, частота модуляції 10 Гц, довжина хвилі оптичного випромінювання 460-960 нм, кількість процедур 8-12, експозиція 5-15 хв. Конструктивно апарат «ФотоСПОК» складається з електронного блоку і блоку живлення (мережевого адаптера) або кабелю живлення для підключення до автомобільної розетки. Електронний блок апарату «ФотоСПОК» включає генератор спеціальних сигналів, електромагнітний індуктор, світлодіодний випромінювач і мікропроцесорний контролер, який дозволяє здійснювати управління і індикацію режимів роботи електронного блоку.

Гідромагнітотерапія (ГіМТ) - поєднана дія МП та води на пацієнта. Лікувальні ефекти: трофічний, анальгетичний, загальнозміцнюючий, седативний, вазоактивний. Ефективність і специфічність водолікувальних процедур, зокрема бальнеотерапії, залежить від надходження через шкіру в організм хімічних речовин, що входять до складу ван, і досягають чутливих до них рецепторів органів і тканин, МП підвищують чутливість тканин і рецепторів до хімічних сполук і лікарських речовин, а також істотно

збільшують шкірну проникність, що є важливим аргументом обґрунтованості поєданого використання МП і бальнеотерапії. Під час ГіМТ відбувається омагнічування води, що здійснює позитивну роль в фізіологічній та лікувальній дії метода. Накопичено впродовж багатьох років успішний досвід комбінованого використання МП та гідротерапії [8].

ГіМТ використовується:

- в кардіології;
- в клініці внутрішніх хвороб;
- в хірургії;
- в неврології;
- в ендокринології;
- в ревматології, травматології та ортопедії;
- в гінекології;
- в уроандрології;
- в дерматології та косметології;
- профпатології;
- спортивній медицині.

Протипоказання для застосування ГіМТ:

- захворювання крові і схильність до кровотеч;
- серцева декомпенсація, стенокардія напруги ІV ФК, брадикардія (при частоті серцевих скорочень < 40 ударів в хвилину), складні і пароксизмальні порушення ритму;
 - кардіостимулятори в зоні впливу;
 - активний туберкульоз легенів;
 - виражена гіпотонія;
 - гострі інфекційні захворювання і гарячкові стани;
 - загальні протипоказання для фізіотерапії.

Апаратура: «АкваСПОК-1», «АкваСПОК-2». Конструктивно перший апарат представляє собою набір індукторів, які закріплюються на зовнішній

поверхні ванни, виготовленої з немагнітного матеріалу, генератор спеціальних сигналів для індукторів, цифровий індикатор, панель керування, мікропроцесорний контролер і підсилювач потужності сигналу. При цьому плата управління і плата підсилювача потужності розміщені в одному корпусі, а в апараті «АкваСПОК-02» плата керування розміщена в виносному пульта [8]. Індуктори МТА виконані в вигляді електромагнітних котушок, що поміщуються в герметичні корпуси, і з'єднані між собою та з електронним блоком апарату гнучким кабелем. Апарати призначені для проведення процедур розподіленої та загальної ГіМТ. Основні технічні характеристики: оптимальна температура води 36-41 °С, можливий вміст домішок хімічних речовин, тривалість сеансу 15-20 хвилин у дорослих, кількість процедур на перевищує 20 у дорослих, магнітна індукція та частота аналогічні як при ЗМТ.

Баромагнітотерапія (БМТ) - поєднаний вплив МП та зниженого атмосферного тиску. Лікувальні ефекти: знеболюючий, загальнозміцнюючий, протизапалювальний.

БМТ з використанням локально від'ємного тиску застосовується в урології. БМТ може виявитися досить ефективною в комплексному лікуванні запальних захворювань бронхолегеневої системи, остеохондрозу хребта з неврологічними проявами, міозитів, облітеруючих захворювань периферичних судин, захворювань і травм опорно-рухового апарату та інших захворювань [8].

Апаратура: «АЛБМТ-1». Характерною особливістю апарату є спеціальний аплікатор, який представляє собою порожнисту посудину (по типу великої медичної банки), в центральній частині якої вмонтований магнітний індуктор. Основні технічні характеристики апарату: діапазони магнітної індукції 10-20 мТл, частоти МП 100-200 Гц, частота модуляції 10 Гц, розрядження, що створюється в вакуум-циліндрі, досягає 40 кПа, експозиція 10-20 хвилин, кількість процедур 6-10, при локальному від'ємному тиску магнітна індукція 30 мТл, частота 6 Гц, тиск 160-240 мм. рт. ст.

Магнітофотобаротерапія (МФБТ) - поєднаний вплив МП, тиску та оптичного випромінювання. Лікувальні ефекти: знеболюючий, загальнозміцнюючий, трофічний. МФБТ використовується при лікуванні урологічних захворювань [8].

Апаратура: «АндроСПОК». Апарат складається з мережевого блоку живлення, електронного вакуум - циліндра та вакуумної помпи. В циліндрі розташовано індуктор МП та силіконова насадка. В нижній частині циліндру розташовуються електронний блок керування, світлодіодні випромінювачі видимого (червоного) та інфрачервоного спектрів. Основні технічні характеристики апарату: розрядження, що створюється в вакуум-циліндрі, досягає 10 ± 2 кПа, магнітна індукція в центрі 5 ± 2 мТл, потужність світлодіодного випромінювання 2 мВт для червоного та 5 мВт для інфрачервоного діапазонів, експозиція 10-15 хвилин. вплив МП та ультразвуком. Лікувальні ефекти: загальнозміцнюючі .

Магнітофонотерапія (МФНТ) - комбінований та поєднаний, трофічний, протизапальний, протинабряковий. Метод МФНТ використовується при лікуванні захворювань дихальної системи, порушень кровотока лімфообігу, обміну речовин, при дегенеративно - дистрофічних процесах. На даний момент актуальною є наукова розробка магнітофонофореза лікарських речовин, у тому числі і з використанням низькочастотного ультразвуку та використання ІМП та ЗМП замість ПМП [8, 100, 101].

Апаратура: апарат для фізіотерапії комбінований «МПТ-11», в якому дія МП та ультразвуку відбувається послідовно. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 2, 8, 12, 15 мТл, інтенсивність 0,4-0,8 Вт / см², резонансні частоти генерації МП та ультразвуку 0-99 Гц, амплітуда ультразвукових коливань 2,3,4,5 мкм, робоча частота ультразвукового генератора 44 кГц, експозиція 10-15 хвилин, кількість процедур МФНТ 8 -15, які проводяться кожного дня або через день.

Магнітолазероультразвукова терапія (МЛУТ) - комбінований вплив МП, лазером та ультразвуком. Лікувальні ефекти: знеболюючий, загально-зміцнюючий, трофічний. Метод МЛУТ використовується при лікуванні наступних захворювань [44, 48]:

- дихальної системи;
- серцево - судинних;
- хвороб очей;
- хірургічних хвороб;
- опорно - рухового апарату;
- центральної нервової системи та прикордонних нервово - психічних розладів;

- периферичної нервової системи;
- шкіри;
- сечостатевих органів;
- органів травлення;
- ЛОР органів;
- зубощелепової системи.

Апаратура: «МПТ-11». Основні технічні характеристики: магнітна індукція 2, 8, 12, 15 мТл, резонансні частоти генерації МП та ультразвуку 0-99 Гц, амплітуда ультразвукових коливань 2,3,4,5 мкм, довжина хвилі червоного квазілазерного випромінювання 0,65 мкм, довжина хвилі інфрачервоного квазілазерного випромінювання 0,8-0,86 мкм, робоча частота ультразвукового генератора 44 кГц, експозиція 10-30 хвилин.

Вібромагнітотерапія (ВМТ) - поєднаний вплив МП та вібрації. Лікувальні ефекти: протизапалювальний, знеболюючий, антиспастичний, трофіко - регенеративний.

Метод ВМТ використовується при остеохондрозі хребта, деформуючому остеоартрозі, плечелопатковому періартрозі, артритах, епикондиліті, подагрі, переломах кісток, ударах м'яких тканин, ранах, хронічній венозній

недостатності, бактеріальному вагінозі, невралгіях, нейропатіях, ринітах, фронтитах, трахеїтах, гінгівітах, пародонтиті та інших захворюваннях [8, 100].

Протипоказання до застосування ВМТ: кровоточивість і схильність до неї; гострий тромбоз, рецидивуючі тромбоемболічні ускладнення; аневризми серця, аорти і великих судин; серцево-судинна недостатність вище II ст.; тяжкі порушення серцевого ритму (миготлива аритмія, пароксизмальна тахіаритмія, часті екстрасистоли та ін.); гострий інфаркт міокарда; наявність кардіостимулятора в області впливу; захворювання центральної нервової системи з різким порушенням, психічні розлади; дієнцезальний синдром; тиреотоксикоз; загальні протипоказання для фізіотерапії.

Апаратура: «Магнетайзер М-СНР», «Магнетайзер М-РЗ», «Hot Magner», «Магафон», «Амус-01 Интрамаг» з приставками, «МИТ-11». Стационарний апарат «Магнетайзер М-СНР» виконаний у вигляді крісла. В апараті «Магнетайзер» моделі М-СНР індуктори-електромагніти розташовані уздовж подовжньої осі пацієнта в області потилиці, лопаток, хребту, сідниць та ступенів (підшов) і живляться синусоїдальним струмом в безперервному режимі. Одночасно можуть вмикатися від одного до п'яти індукторів з можливістю регулювання інтенсивності МП (6 рівнів). Основні технічні характеристики: магнітна індукція 20-30 мТл, частота вібрації 0,02-20 кГц, вібрація аплікатора 50-120 разів за секунду, середня сквапність імпульсів від 3 до 11, експозиція 2-6 хвилин на одне поле, не перевищує 15-20 хвилин, кількість процедур 10-15.

Вібротермомагнітотерапія (ВТМТ) - поєднаний вплив МП, тепла та вібрації на хворого. Лікувальні ефекти: знеболюючий, протинабряковий, нейротропний, спазмолітичний.

Метод ВТМТ використовується при лікуванні захворювань в урології та гінекології [8]. Протипоказання: гострий простатит, загострення хронічного простатиту, злоякісні утворення простати і прямої кишки, активний туберкульоз або підозра на туберкульоз передміхурової залози, гостре запальне захворювання прямої кишки.

Апаратура: «АВИМ-1», «АЛП-01 МАВИТ». Пристрій - аплікатор «АЛП-01 МАВИТ» виготовлений з медичного пластикату і містить всередині електромагніт з рухомим сердечником. Обмотка електромагніту одночасно служить нагрівальним елементом і джерелом МП. Аплікатор має специфічну конфігурацію, адаптовану за формою до анатомічного розташування в зоні передміхурової залози та прямої кишки. Основні технічні характеристики: температура робочої частини магнітного індуктора 38,5-42 °С, магнітна індукція 3-30 мТл, частоти монополярних імпульсів від 20±5 до 100±20 Гц, амплітуда вібрації аплікатора 0,01-0,1 мм, тривалість циклу 12±2 с, середня сквапність імпульсів від 3 до 11.

Електромагнітотерапія (ЕМТ) - поєднаний вплив МП та електричних струмів на пацієнта. Лікувальні ефекти: протизапальний, знеболюючий, загальнозміцнюючий, трофічний, протинабряковий, седативний. Метод ЕМТ використовується при лікуванні кардіологічних захворювань, неврологічних захворювань, отоларингологічних захворювань, стоматологічних захворювань, офтальмологічних захворювань, урологічних захворювань, при порушеннях травної системи, шкірних захворювань, захворювань крові, больових синдромів різного генезу [8]. При дії МП та електричних струмів зростає терапевтичний ефект на органи системи слуху, внутрішні органи та ендокринні залози.

Апаратура: «Седатон», «АМО-АТОС Э» з приставкою «Оголовье». «Седатон» забезпечує: роздільні режими, поєднані режими (магнітотерапія + ампліпульстерапія, магнітотерапія + гальванотерапія); можливість черезшкірного введення лікарських засобів. Апарат оснащений електродами, виконаними із струмопровідної кремній-органічної гуми; пневматичним магнітним індуктором у вигляді гумової груші-присоски; периферичним магнітним індуктором у вигляді плоского диска. Основні технічні характеристики апаратів: діапазони магнітної індукції 10±5, 25±5 мТл, частота синусоїдального модульованого струму 5000 Гц, частота МП та електричних

імпульсів 0,7-10 Гц, сила гальванічного струму до 30 мА, сила синусоїдального модульованого струму до 50 мА.

Електромагнітолазерна терапія (ЕМЛТ) з поліхроматичним (кольороімпульсним) впливом - поєднана дія МП, електричних струмів, лазерного випромінювання та поліхроматичного (кольороімпульсного) впливу. Лікувальні ефекти: знеболюючий, седативний, пронабряковий, протизапалювальний.

Даний метод фізіотерапії використовується в урології та гінекології при лікуванні хронічного простатиту; циститів, захворювань жіночої статеві сфери запального характеру [8]. Протипоказаннями для даного методу фізіотерапії є онкологічні захворювання, хвороби кровотворної системи, гострі інфекційні захворювання, туберкульоз, хронічні захворювання центральної нервової системи.

Апаратура: апаратно-програмний комплекс «Андро - Гин», комбінований апарат магнітополіхроматичної терапії (МПХТ) «МІТ-11ПХ». Даний апарат фізіотерапії містить ректальний (вагінальний) датчик магнітного та електролазерного впливу на передміхурову залозу та інші органи малого тазу. Ректальний (вагінальний) зонд має електрод для електростимуляції, вбудований випромінювач інфрачервоного лазера і постійний кільцеподібний магніт, що забезпечує комплексний вплив постійного МП, електричної стимуляції і інфрачервоного лазерного випромінювання. Крім того, для успішної терапевтичної дії в комплекс додатково додані нейростимулятор для стимуляції зон Захар'їна-Геда і блок авторитмотерапії для лікування астеничних синдромів і соматичних неврозів, супутніх хронічному простатиту [8]. Технічні характеристики: магнітна індукція не менше 15 мТл та 40 мТл у внутрішньопорожнинному та наскірному випромінювачах; частота модуляції МП та електричних струмів 10-120 Гц; частота модуляції світлодіодів 2-32 Гц; амплітуда струму до 100 мА при навантаженні 2000 Ом; кольори імпульсного впливу: червоний, жовтий, зелений, синій,

помаранчевий; довжина хвилі лазерного випромінювання 0,85 мкм; довжина хвилі світлодіодного випромінювання 0,95 мкм; сумарна потужність лазерного та світлодіодного випромінювання не менше 7 мВт; потужність лазерного випромінювання до 100 мВт.

Електромагнітосвітлотерапія (ЕМСТ) - поєднаний вплив постійним, змінним, імпульсним МП та низькочастотним електричним струмом і світлом. Даний метод фізіотерапії використовується при лікуванні наступних захворювань: дихальних шляхів, шлунково-кишкових, серцево-судинних, неврологічних, ЛОР-органів, в офтальмології, хірургії, стоматології, урології, гінекології, , ендокринології, дерматології [8].

Апаратура: «Градиент 3», «МІТ-11 ПХ». Технічні характеристики: 3 індуктора, частота МП (0,01-100) Гц, магнітна індукція (0,05-50) мТл, амплітуда струму 0,5-50 мА, випромінювання оптичне синього, жовтого, зеленого та червоного кольорів, сила світла не менше (10-200) мкд.

Магнітоакустична терапія (МАТ) - поєднана терапія МП та звуком (акустичних коливань). Лікувальні ефекти: знеболюючий, імуномодулюючий, метаболічний, регенеративний. Даний метод фізіотерапії використовується при лікуванні захворювань опорно-рухового апарату, травм опорно-рухового апарату, захворювань серцево-судинної системи, ЛОР-захворювань [8]. Протипоказання: гнійні запальні захворювання в гострий період, гарячкові стани, захворювання крові, гострий тромбофлебіт, захворювання серцево-судинної системи: виражена гіпотонія, важкий перебіг ішемічної хвороби серця, ранній постінфарктний період, гострий період порушення мозкового кровообігу; вагітність, онкологічні захворювання, тиреотоксикоз, дієнцезальний синдром, наявність імплантованого кардіостимулятора в місці впливу.

Апаратура: «Магафон-01», «МІТ-11ПХ». В апараті «Магафон-01» МП неоднорідне. Технічні характеристики: магнітна індукція 30 ± 9 мТл, частота звуку (широкополосних віброакустичних коливань) (0,02-20) кГц.

Кріомагнітотерапія (КрМТ) - поєднана терапія МП та холодом. Лікувальні ефекти: знеболюючий, протизапалювальний, протинабряковий, спазмолітичний. КрМТ покращує мікроциркуляцію крові та метаболізм і використовується при спортивних травмах, розтягах зв'язок, забоях, болях у м'язах, лікуванні захворювань периферичних судин [100].

Апаратура: компрес «Полар Паудер Колд Пак», до складу якого входять порошок сорбата калія і мікрогранули з'єднань заліза, кожна частка якого намагнічена, та гідрофільні прокладки, змочені водою [8]. Перед використанням технічні засоби КМТ попередньо охолоджуються в морозильній камері холодильника впродовж 10-12 годин. Технічні характеристики: експозиція 20-30 хв.

Пеломагнітотерапія (ПеМТ) - поєднана терапія НМП та лікувальними грязевими аплікаторами. Лікувальні ефекти: протизапалювальний, протинабряковий, трофічний, імунomodуючий, седативний. ПеМТ використовують при лікуванні остеохондрозу хребта з неврологічними проявами, хронічного гастриту, гепатиту, холециститу, ішемічної хвороби серця, запалювальних захворювань жіночих статевих органів, захворювань і травм суглобів, залишкових явищ після перенесених бронхітів і пневмоній, бронхіальної астми в період між нападами [8]. Основні технічні характеристики: температура лікувальної грязі 38-40 °С, магнітна індукція - менше на 15-25 % у порівнянні зі звичайними процедурами магнітотерапії, експозиція МП 10-20 хв., експозиція грязі 20-25 хвилин, кількість процедур 8-20 процедур, які проводяться через день.

Питання впливу фізіотерапії на лікарняні речовини розглянуто в [102-104]. **Магнітофорез (МФ)** - поєднаний метод магнітотерапії, в основі якого лежить одночасний місцевий вплив МП та розчину ліків. МП прискорюють дифузійні процеси, підвищують судинну та епітеліальну проникність, збільшують фармакотерапевтичну активність багатьох лікарських речовин [8,13,102,104]. На основі цих змін можливе підсилення чи ослаблення

ефекту дії або фізичного фактору, або лікарського засобу. Можливе зменшення небажаних побічних ефектів від прийому ліків на фоні магніто-терапії. Внаслідок того, що МП утворюють електрорушійну силу, при МФ може мати місце вторинний електрофорез ліків. Остання обставина визначає переважне використання для МФ обертаючого МП з реверсом, що генерує електрорушійну силу потрібного напрямку та використовується, наприклад, в апаратах «Полюс-3», «Полюс-4». При МФ для більшості захворювань, розчин лікарської речовини наноситься на тонку марлеву прокладку чи використовується вже готова трансдермальна система, яка встановлюється в області патологічного осередка [8,102]. Магнітний індуктор встановлюється над прокладкою з мінімальним зазором чи контактено. Метод МФ використовують при лікуванні наступних захворювань: офтальмологічних, гнійних ран, преактивному періоді ортодонтичного лікування зубощелепних аномалій сформованого прикусу, спрямованої тимчасової структурно-функціональної перебудови кісткової тканини щелепи, остеоартрозу крупних суглобів, нервових захворювань, хронічного бронхіту, реактивного і ревматоїдного артриту, ревматоїдного поліартриту, остеопорозу, остеохондрозу хребта з неврологічними проявами, коксартрозу, неалкогольної жирової хвороби печінки, функціональної кардіопатії, дорсопатії, м'язево-тонічного синдрому, перетинальної енцефалопатії, темпоромандібулярного больового дисфункціонального синдрому, одонтогенних флегмон обличчя і шиї [8]. Метод МФ здебільшого застосовується в офтальмології. З ліків для МФ в офтальмології використовують протизапальні засоби, протеолітичні ферменти, мідріатики, знеболюючі препарати, антибіотики.

Апаратура: «Полюс-3», «Полюс-4», «Градиент-4», «Атос», «УниСПОК», «МІТ-11ПХ» та лікарняні препарати: протизапальні, знеболюючі та антибіотики і інш. Основні технічні характеристики: при лікуванні офтальмологічних захворювань експозиція 7-10 хвилин, магнітна індукція 10-15 мТл,

курс лікування від одиничних до 10-12 процедур, при лікуванні інших захворювань експозиція 10-20 хв., магнітна індукція 10-20 мТл, кількість процедур від 8-12 до 16-20.

Магнітоелектрофорез (МЕФ) - одночасне використання МФ та електричного струму. Даний метод фізіотерапії розроблений та аборований для лікування стоматологічних захворювань: ендодонтичного лікування ускладнень карієса зубів, хронічних пульпітів та періодонтитів.

Для його проведення запропоновано пристрій [8], що містить джерело МП, один магнітопровід є активним електродом, а другий зроблений разом з пасивним електродом. Активний електрод укріплений в накінецьнику магнітоприводу і вводиться в кореневий канал, заповнений робочим розчином ліків. Пасивний електрод, сполучений з другим магнітопроводом, накладають на шкіру обличчя відповідно проекції зуба. Технічні параметри: сила струму до 3 мА, магнітна індукція 30 мТл, експозиція 20 хвилин.

1.10. Апарати магнітотерапії

1.10.1. Апарати магнітотерапії локальної дії

Загальною ознакою магнітотерапевтичних апаратів локальної дії (МТАЛД) є те, що магнітотерапевтичний вплив здійснюється одним індуктором на окрему ділянку (хворий орган пацієнта).

Розглянемо сучасні промислові МТАЛД, що використовуються в профілактиці, лікуванні та реабілітації пацієнтів в клінічній медицині.

МТА «Магнітер АМТ 02» призначений для локальної фізіотерапії МП при лікуванні пацієнтів. Переносний МТА «Магнітер АМТ 02» використовується для лікування захворювань опорно - рухового апарату, шкіри, судин, вегетативної нервової системи, ішемічної хвороби серця, хвороби Рейно, гіпертонічної хвороби I та II стадії, неврологічних проявів остеохондрозу хребта, тромбофлебиту, облітеруючих захворювань артерій кінцівок, парадонтозів, стоматитів, гастритів, гастродуоденітів, соляритів,

гіполактії, ринітів, тонзилітів, застуди. На рис. 1.13 та рис. 1.14 представлено, відповідно, зовнішній вигляд та структурна схема МТА «Магнітер».

Одна з поверхонь апарату є робочою зоною, на другій розташовані індикатори вмикання мережі, ступенів магнітної індукції, форми МП. Основні технічні характеристики: магнітна індукція I ступеня для синусоїдального МП 10 мТл, для пульсуючого 13 мТл, магнітна індукція II ступеня 30 та 37 мТл, відповідно, частота 50 Гц, МП синусоїдальне чи пульсуюче, 4 режими роботи, маса апарату 0,8 кг, потужність, якою живиться апарат 30 Вт, середній термін роботи 7 років, габарити 242x92x47 мм.



Рис. 1.13. МТА «Магнітер АМТ 02»



Рис. 1.14. Структурна схема апарату «Магнітер»

МТА «Маг-30-4» (рис. 1.15) є портативним апаратом для лікування пацієнтів ЗМП. Використовується при лікуванні захворювань та ушкоджень опорно - рухового апарату, захворювань серцево - судинних, неврологічних, гінекологічних, ЛОР органів, офтальмологічних, дерматологічних, при ускладненнях цукрового діабету. Основні технічні характеристики: індуктор-електромагніт, магнітна індукція 30 ± 9 мТл, частота 50 Гц, напруга

220 В, потужність, якою живиться апарат 30 Вт, маса апарату 0,6 кг, габаритні розміри апарату 115x80x47 мм, розміри робочої поверхні апарату 105x70 мм.



Рис. 1.15. МТА «МАГ-30-4»

Переносний МТА «Полюс-2 Д» (рис. 1.16) призначений для місцевого впливу на пацієнта.



Рис. 1.16. МТА «Полюс-2 Д»

Даний апарат використовується для лікування серцево - судинної системи, органів дихання, шлунково - кишкового тракту, опорно - рухового апарату, нервової системи, вуха, горла, носа, шкіри, стоматологічних захворювань. МТА «Полюс-2 Д» генерує ПуМП з плавно наростаючим фронтом та плавним спадом імпульсу. Робоча поверхня апарату - нижня, без маркувань поверхні корпусу, корпус апарату звужений в повздовжньому напрямі у вигляді ручки. Основні технічні характеристики: індуктор-електромагніт, амплітудне значення магнітної індукції 40 ± 10 мТл, частота

проходження імпульсу $12,5 \pm 5$ Гц, тривалість імпульсу 15 мс, габаритні розміри 195x70x65 мм, маса 1 кг, режим роботи повторно короткочасний - 30 хвилин роботи, 10 хвилин перерви, потужність, що споживається, 20 ВА, напруга живлення 220 В, частота живлення 50 Гц, клас захисту від ураження електричним струмом II.

МТА «АМТ-01» (рис. 1.17) належить до МТАЛД, що генерують низькочастотне СМП. Апарат лікує наступні захворювання: дихальної системи, ЛОР-органів, системи травлення, опорно-рухового апарату, урологічні та гінекологічні, серцево-судинної системи, знімає біль, рани, обмороження, опіки, трофічні виразки. Технічні характеристики: індуктор-електромагніт, магнітна індукція 30 ± 9 мТл, маса апарату 0,9 кг, напруга 220 В, частота живлення 50 Гц, потужність, що споживається від мережі живлення, 30 ВА, габаритні розміри 242x92x46,5 мм. На корпусі апарату є індикатор, який при переведенні апарату в робочий режим світиться зеленим кольором.

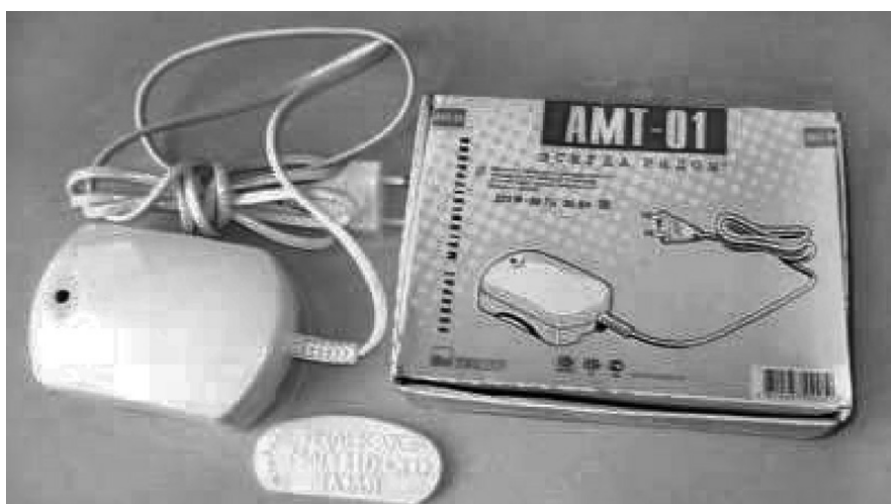


Рис. 1.17. МТА «АМТ-01»

Апарат «АМнп-01 солнышко» (рис. 1.18) - МТАЛД, генерує змінне та пульсуюче НМП. Застосовується при лікуванні захворювань периферичних судин, серцево-судинної системи, опорно-рухового апарату, органів дихання, шлунково-кишкового тракту, периферичної нервової системи, офтальмологічних, стоматологічних, шкіри. Технічні характеристики:

індуктор-електромагніт, амплітуда магнітної індукції на робочій поверхні апарату при синусоїдальній формі струму складає в положенні I перемикача магнітну індукцію $10 \pm 2,5$ мТл, а в положенні II перемикача магнітну індукцію $30 \pm 7,5$ мТл, напруга 220 В, частота 50 Гц, потужність від мережі живлення 30 ВА, маса апарату 0,9 кг, габаритні розміри апарату $148 \times 114 \times 45$ мм, ударноміцний пластиковий корпус, фіксуєчі ремені.



Рис. 1.18. МТА «АМнп-01»

МТА «АМнп-02 солнышко» (рис. 1.19) є модифікацією апарату «АМнп-01 солнышко», що дозволяє здійснювати вплив на різні ділянки тіла пацієнта низькочастотним ЗМП, що автоматично змінюється за частотою. Апарат використовується при лікуванні наступних захворювань: травматичних, запалювальних та дегенеративно-дистрофічних ушкоджень опорно - рухового апарату, нервової системи, невритів, шкіри та підшкірної клітковини, органів дихання, серцево-судинної системи, гінекологічних та урологічних, хвороб шлунково-кишкового тракту. Основні технічні характеристики: індуктор електромагніт, автоматично змінюється частота МП від $50 \pm 10\%$ до $150 \pm 10\%$ Гц, частота живлення 50 Гц, напруга 220 В від мережі змінного струму та від зовнішніх джерел постійного струму напругою 12 В, потужність від мережі живлення 30 ВА, маса апарату без фіксуєчих

ременів 0,75 кг, габаритні розміри індуктора 70x135x25 мм, час неперервної роботи апарату 25 ± 5 хвилин, перерва для охолодження не менше 30 хвилин, середній термін роботи 5 років, магнітна індукція максимальна 55 ± 10 мТл.



Рис. 1.19. МТА «АМнп-02»

МТА «Градиент-4» (рис. 1.20) призначений для лікувального впливу НМП різної форми та інтенсивності. Апарат використовується при лікуванні наступних захворювань: дегенеративно-дистрофічних захворювань хребта з корінцевим та рефлекторним синдромами, переломах кісток кінцівок, вазомоторного риніту, ларингіту, фарингіту, тонзиліту, гострих та хронічних сиалоаденітів, переломів щелепи, остеомієлітів, ран рогової та склери, стану судин після операцій, пов'язаному з варикозним розширенням вен, посттромбозної хвороби, трофічних язв, хронічних запалень внутрішніх органів. Основні технічні характеристики: частота змінного і імпульсного МП 0,01-150 Гц, магнітна індукція на робочій частині соленоїда знаходиться в межах 0,05-50 мТл. Всього в комплектації апарату передбачено 7 типів індукторів: індуктор №1 (2 шт.) для використання при захворюваннях нервової системи та опорно - рухового апарату з максимальною амплітудою магнітної індукції 50 ± 15 мТл, індуктор № 2 (2 шт.) для використання в стоматології та отоларингології з максимальною

амплітудою магнітної індукції 20 ± 6 мТл, індуктор № 3 (2 шт.) для використання в офтальмології з максимальною амплітудою магнітної індукції 20 ± 6 мТл, індуктор № 4 (вагінальний) для використання в гінекології з максимальною амплітудою магнітної індукції 20 ± 6 мТл, індуктор № 5 (ректальний) для лікування проктологічних захворювань з максимальною амплітудою магнітної індукції 20 ± 6 мТл, додаткові гнучкі індуктори діаметром 200 (№ 6) та 500 мм з максимальною амплітудою магнітної індукції $2 \pm 0,4$ мТл та, відповідно, $1 \pm 0,2$ мТл. Апарат має сім форм сигналів від внутрішнього генератора: гальванічну, синусоїдальну, випрямлену однонапівперіодну, випрямлену двонапівперіодну, імпульсну однополярну, імпульсну синусоїдальну з постійною складовою, пачки прямокутних імпульсів струму (з заповненням імпульсу сигналом однією з форм неперервної генерації) в режимі 1:1, частота повторення імпульсів 1 Гц, тривалість імпульсу $0,5 \pm 0,1$ с, тривалість паузи $0,5 \pm 0,1$ с, маса апарату в комплекті 10 кг, напруга живлення 220 В, частота живлення 50 Гц., потужність живлення від мережі не більше 100 Вт, кількість каналів лікувального впливу 1, передбачена можливість проведення процедури в скануючому режимі.

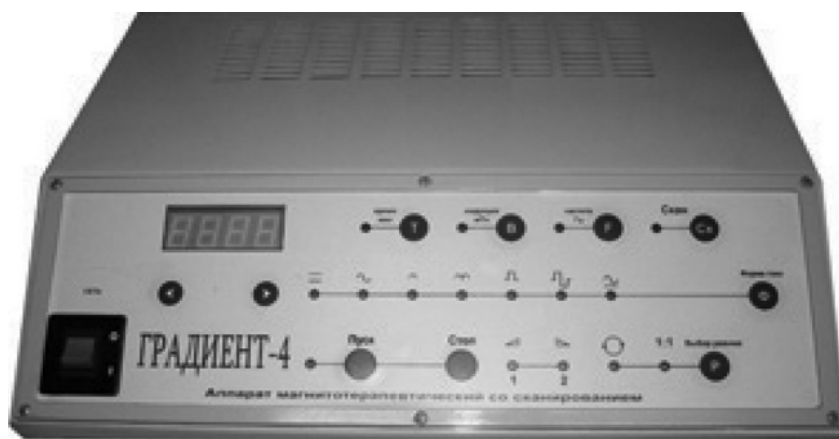


Рис. 1.20. МТА «Градиент-4»

В таблиці 1.1 представлено діючі серійні та промислові МТАЛД. Позначення в таблиці: синусоїдальний (Sin), пульсуючий (ПУ), імпульсний (Імп), електромагніт (ЕМ).

Таблиця. 1.1

Магнітотерапевтичні апарати локальної дії

Назва апарату	Вид струму живлення індуктора	Максимальне значення магнітної індукції, мТл	Частота МП, Гц	Тип індуктора	Відмінні особливості
1	2	3	4	5	6
Магнітер АМТ 02	Sin, ПУ	37,5	50	ЕМ	-
Маг-30-4	Sin	39	50	ЕМ	-
Полюс-2Д	ПУ	40	12,5	ЕМ	-
Градiєнт- 4	Sin, ПУ	65	0,01 - 150	ЕМ	Модуляція струму, робота від зовнішнього генератора
Біос	Імп	-	програмована	ЕМ	Можливість синхронізації від датчика пульсу
Каскад	Імп	15	0,8 – 2,5 Гц	ЕМ	-
АМТ-01	Sin	39	50	Соленоїд	-
АМНП-01 Солнышко	Sin, ПУ	37,5	50	ЕМ	-
АМНП-02	Імп	65	50±10%- 150±10%	ЕМ	Автоматично змінюється частота ЗМП

1.10.2. Апарати магнітотерапії розподіленої дії

Характерною особливістю магнітотерапевтичних апаратів розподіленої дії (МТАРД) є те, що під час сеансу фізіотерапії магнітотерапевтичний вплив здійснюється одночасно на декілька ділянок тіла пацієнта (наприклад, кінцівки) [22].

Розглянемо сучасні промислові МТАРД.

МТА «Атос» (структурна схема наведена на рис. 1.21) призначений для лікування захворювань в офтальмології ОМП, створюваним шестиканальним джерелом, виконаним на базі соленоїдів і генеруючим змінне або імпульсне реверсивне МП частотою 50 або 100 Гц. Особливістю даного апарату є можливість дії одночасно на 3-х частотах: частотою кожного соленоїда у момент включення, частотою модуляції імпульсним МП, частотою комутації сусідніх соленоїдів.

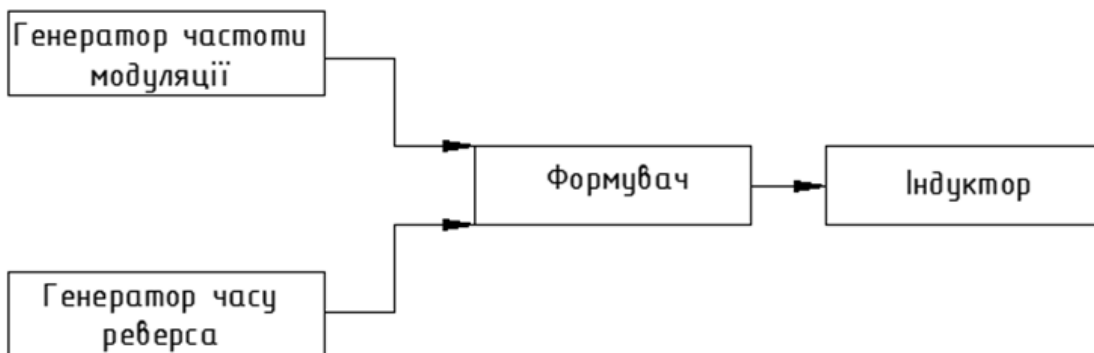


Рис. 1.21. Структурна схема МТА «Атос»

Модифікація апарату «Атос» - апарат магнітотерапії «Амо-Атос» представлений на рис. 1.22. Технічні характеристики апарату «Амо Атос»: величина магнітної індукції 33 мТл, частота зміни поля для кожного джерела в випромінювачі: а) в режимі змінного поля 50 Гц, б) в режимі пульсуючого поля 100 Гц, діапазон частот модуляції від 1 до 16 Гц, є можливість використовувати спеціальні приставки «АМБЛИО-1» (в дитячій офтальмології з фотостимулюючою дією), «Оголовье» (для здійснення процедури ТМС).



Рис. 1.22. Апарат «Амо Атос»

Фірмою «Emildue» (Італія) випускається серія апаратів для магніто-терапії під загальною назвою «Cosmogamma».

Так, портативний апарат для магнітотерапії «MG-Wave Cosmogamma» (рис. 1.23) призначений для впливу на організм ПуМП низької частоти.



Рис. 1.23. МТА «MG-Wave Cosmogamma»

«MG-Wave Cosmogamma» використовується в ортопедії, травматології, ревматології, при лікуванні хвороб судинної системи, опорно - рухового апарату та периферичної нервової системи. Основні технічні характеристики:

магнітна індукція 15 мТл на кожному кільці, частота імпульсів 1-750 Гц, форма імпульсів прямокутна, тривалість імпульсів до 5 мс, дві стандартні котушки діаметром 15 см, два кабеля, два еластичних фіксатора, в апараті вбудований таймер 0 – 240 хвилин з акустичним сигналом та автоматичним завершенням процедури, вага 4 кг, габарити апарату 32 x 35 x 14 см, додатково може укомплектовуватися магнітними котушками діаметром 7,5 см, кільцем 30 см, кільцем 60 см, кабелем для кілець, терапевтичною дерев'яною чи алюмінієвою кушеткою.

МТА «Полюс-3» (рис. 1.24) призначений для терапевтичного впливу на пацієнта низькочастотним (резонансним) МП та використовується при проведенні процедури магнітофорезу. «Полюс-3» застосовується при лікуванні офтальмологічних, стоматологічних, отоларингологічних, неврологічних захворювань. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 10, 20, 30 мТл, частота 12,5; 17; 25 Гц, час автоматичного реверсування на прями обертання МП по ступеням 5, 10, 20 с, напруга живлення 220 В, частота живлення 50 Гц.



Рис. 1.24. МТА «Полюс-3»

МТА «Полюс-4» (рис. 1.25) призначений для впливу НМП на верхні чи нижні кінцівки пацієнта. «Полюс-4» використовується при лікуванні

захворювань судин, дегенеративно-дистрофічних і запалювальних захворювань суглобів, больового синдрому, стану після оперативного лікування захворювань венонних судин. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 5, 10, 15 мТл, частоти 12,5; 17; 25 Гц, три режими обертання: за годинниковою стрілкою, проти годинникової стрілки, реверсивний. Габарити апарату 386x255x230 мм, напруга живлення 220 В, частота живлення 50 Гц, вага апарату 7 кг, індуктори соленоїди, в апараті регулюються тривалість процедури магнітотерапії та час реверсу.



Рис. 1.25. МТА «Полюс-4»

В Великобританії випускається серія апаратів імпульсної магнітотерапії «BTL-Magnet», що відрізняються технічними характеристиками і комплектацією: «BTL-5940 Magnet», «BTL-5920 Magnet», «BTL-4920 Magnet Topline», «BTL-4920 Magnet Professional». Апарати серії «BTL-Magnet» використовуються в ортопедії, неврології, дерматології, спортивній медицині, гінекології, гастроентерології, стоматології, ревматології, імунології та алергології, пневмології, отоларингології та при реабілітації пацієнтів. Апарати комплектуються різними видами індукторів (аплікаторів). Вони можуть мати до 6 виходів (каналів) для роботи. Аплікатори додатково обладнані генератором постійного МП. Використовуються різні індуктори-аплікатори: диск - для локальних застосувань; мульти-диск - для розширеного застосування (тазова і абдомінальна області, кінцівки); прямокутний аплікатор - для спини і поздовжнього застосування; соленоїд великого

діаметра 60 см, зони - хребет і стегно; соленоїд малого діаметра 30 см - для кінцівок. Можлива додаткова комплектація аплікатором діаметру 70 см для проведення загальної магнітотерапії. Апарати мають русифіковане меню, зручний інтерфейс, передбачено внесення протоколів лікування при різних захворюваннях, а також можливе створення індивідуальної програми лікування кожного пацієнта зі збереженням параметрів процедури. Діапазон робочих частот 1-50 Гц, магнітна індукція до 20 мТл.

На рис. 1.26 представлено МТА «BTL-4920 MAGNET PROFESSIONAL».



Рис. 1.26. МТА «BTL-4920 MAGNET PROFESSIONAL»

Основні технічні характеристики: графічний і цифровий екран, портативність і робота від акумулятора, два незалежних канали магнітотерапії, потужні магнітотерапевтичні аплікатори з технологією зфокусованого МП, ІМП з прямокутними, експоненціальними, синусоїдальними і трикутними імпульсами, додатково комплектується візком, розміри 160 x 140 x 350 мм, вага 3 кг, живлення 100-240 В, частота 50-60 Гц, модуляція частоти (0-166) Гц, максимальна інтенсивність МП 128 мТл, передбачені протоколи роботи.

Основні технічні характеристики МТА «BTL-5920 Magnet» (рис. 1.27): 5.7" кольоровий екран, прямокутні, експоненціальні, синусоїдальні та трикутні імпульси МП, терапевтична енциклопедія, магнітотерапевтичні аплікатори з технологією сфокусованого МП, додатково може бути візок, два

незалежних канали магнітотерапії, максимальна магнітна індукція 128 мТл, модуляція частоти 0-166 Гц, розміри 230 × 390 × 260 мм, вага 4,7-5,3 кг, живлення 230 В/50-60 Гц, 115 В/50-60 Гц.



Рис. 1.27. МТА «BTL-5920 Magnet»

Зовнішній вигляд МТА «BTL 5940» показано на рис. 1.28. Основні технічні характеристики: 4 незалежних канала магнітотерапії, аплікатори диск та імпульси МП прямокутної, синусоїдальної, експоненціальної та трикутної форми, передбачені протоколи сеансів магнітотерапії та терапевтична енциклопедія, база даних пацієнтів, 5.7" кольоровий сенсорний екран, розміри 230 х 390 х 260 мм, вага 4.7-5.3 кг, живлення: напруга 230 В при частоті 50-60 Гц, напруга 115 В при частоті 50-60 Гц, максимальна інтенсивність МП 128 мТл, модуляція частоти 0-166 Гц, мультидиск, технологія сфокусованого МП, додатково комплектується візком.



Рис. 1.28. МТА «BTL 5940»

В таблиці 1.2 представлено промислово-серійні МТАРД. Позначення в таблиці: синусоїдальний (Sin), пульсуючий (ПУ), імпульсний (Імп), експоненціальний (Ехр) електромагніт (ЕМ).

Таблиця. 1.2

Магнітотерапевтичні апарати розподіленої дії

Назва апарата	Вид струму живлення індуктора	Максимальне значення індукції, мТл	Частота МП, Гц	Тип індуктора	Відмітні особливості
1	2	3	4	5	6
Полюс 101	Sin	1,5	700, 1000	Соленоїд	-
Полюс 3	ПУ	30	12,5;17;25;	ЕМ	Магнітофорез, автоматичний реверс МП
Полюс 4	ПУ	15	12,5;17;25;	ЕМ	Автоматичний реверс МП
Авімп	Імп.	1500	0,17..0,76; 30;130;	Соленоїд	Магніто-стимуляція
Біомаг	Імп.	4000	0,2	Соленоїд	Магніто-стимуляція
Алмаз	Імп.	15	50	ЕМ	-
Індуктор 2	Sin	3	5000	ЕМ	-
Аміт	Імп.	57	2..5;6;8; 10;12;16	ЕМ	-
Атос	Імп.	33	50,100	Соленоїд	Бігуче МП
Амо-Атос	Імп.	33	50, 100, частота модуляції 1 – 16 Гц	Соленоїд	-

Назва апарата	Вид струму живлення індуктора	Максимальне значення індукції, мТл	Частота МП, Гц	Тип індуктора	Відмітні особливості
1	2	3	4	5	6
BTL-4920 Magnet Professional	Sin, Exp	128	0-166	Аплікатори	Технологія сфокусованого МП
BTL-5920 Magnet	Sin, Exp	128	0-166	Аплікатори	Технологія сфокусованого МП
BTL 5940	Sin, Exp	128	0-166	Аплікатори	Технологія сфокусованого МП
MG-Wave Cosmoga mma	ПУ	15	1 - 750	Аплікатори	Можливість проведення процедур загальної магнітотерапії

1.10.3. Апарати магнітотерапії загальної дії

В даний час інтенсивно розвивається МЗД, заснована на впливі МП на весь організм пацієнта. Вона забезпечує більш високий лікувальний та біологічний ефект. В магнітотерапевтичних апаратах загальної дії (МТАЗД) у 1990-х роках ХХ сторіччя вперше став використовуватися фізіологічний ЗЗ.

Розглянемо сучасні промислові МТАЗД.

МТА «Аврора-МК-02» був одним з перших радянських МТАЗД (рис. 1.29-1.31). Одними з основних блоків апарату є блок керування та магнітоскан. Біотехнічний ЗЗ реалізується за допомогою датчику артеріального тиску та пульсу, електрокардіографу, реографу (вимірювально-діагностична система) [22]. В апараті в наявності апаратура для вимірювання МП.

Біотропні параметри МП оптимізуються відповідно до частоти серцевих скорочень за допомогою персонального комп'ютера. Можливий хронобіологічний ЗЗ, так як є в наявності датчики для вимірювання біоритмів пацієнта. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 0,5 мТл-12 мТл, частота 0-100 Гц.

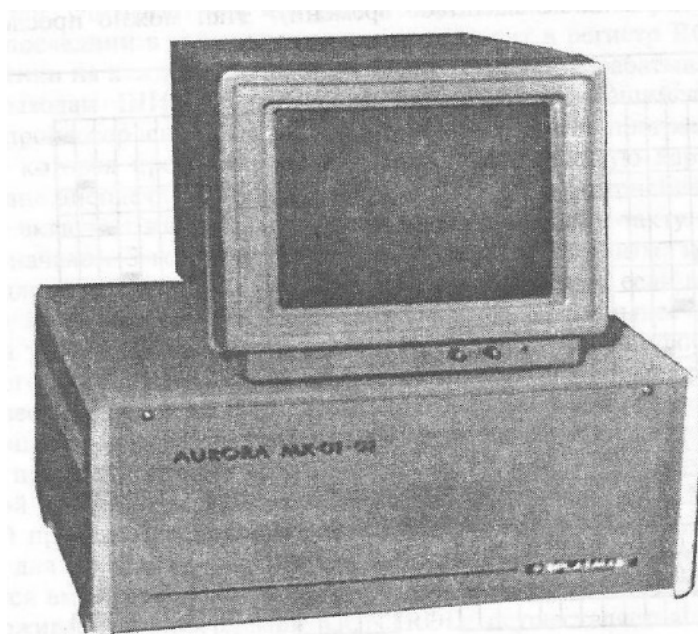


Рис. 1.29. Зовнішній вигляд апаратно – програмного комплексу «Аврора МК 01-02»

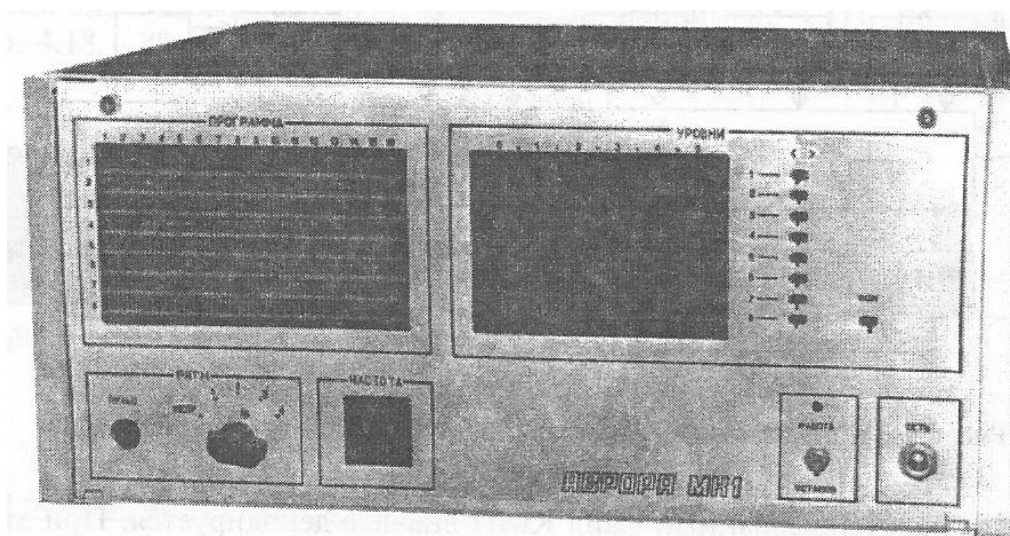


Рис. 1.30. Зовнішній вигляд блоку керування МТА «Аврора МК-01»

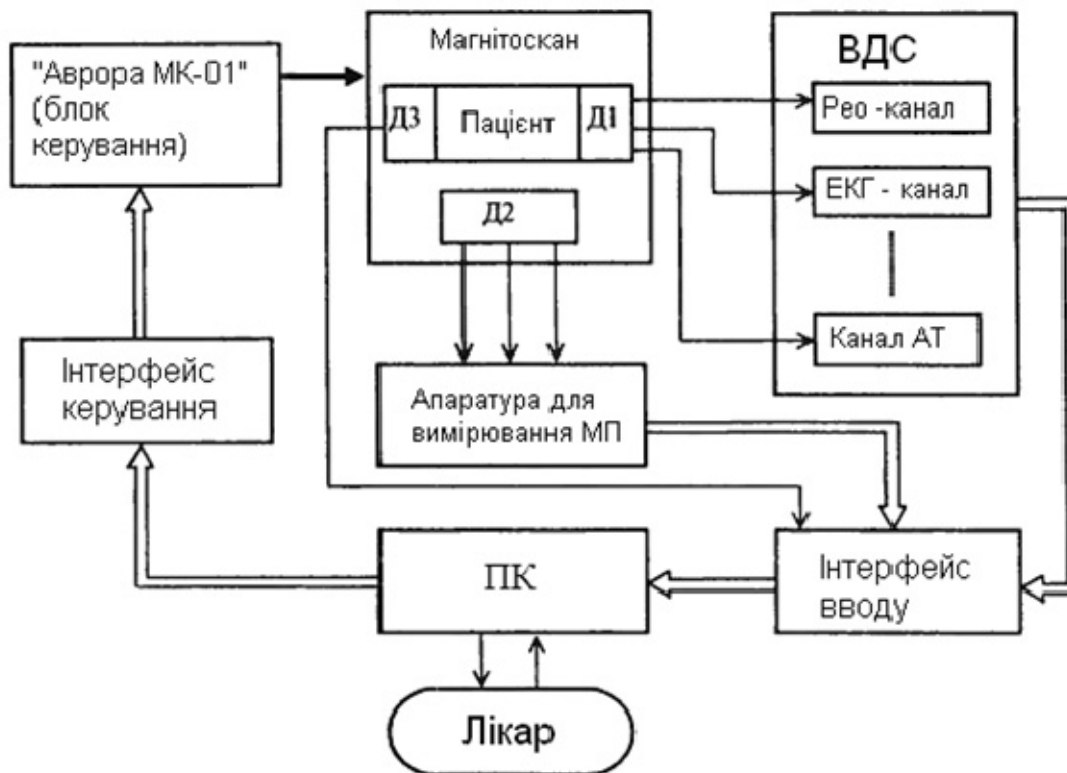


Рис. 1.31. Структура магнітотерапевтичного комплексу зі зворотним зв'язком «Аврора МК-01»: Д1 - група датчиків для зняття фізіологічних показників людини; Д2 - датчики для вимірювання реальних параметрів МП в апараті; Д3-датчики біоритмів пацієнта; ВДС - вимірювально-діагностична система

Подальшим розвитком апарату «Аврора» став магнітотерапевтичний комплекс «Мультимаг-МК-03» (структурна схема представлена на рис. 1.32), що складається з блоку керування, діагностичної апаратури і магнітоскану та використовується при лікуванні наступних захворювань: суглобів, хребта, нервової системи, порушень кровообігу, алергічного бронхіту, хронічної обструктивної хвороби легень, циститу, запалювальних захворювань шкіри, подагри, остеохондрозу, остеопорозу, хронічного панкреатиту, травної системи та болей різного походження.

Оптимізація біотропних параметрів МП відповідно до температури, пульсу, реограми, тиску крові здійснюється за допомогою персонального комп'ютера. Основні технічні характеристики сучасної моделі МТ комплексу

«Мультимаг» - «КАП-МТ-8 - «Мультимаг» (рис. 1.33): магнітна індукція 0-5 мТл, частота МП 0,3-100 Гц.

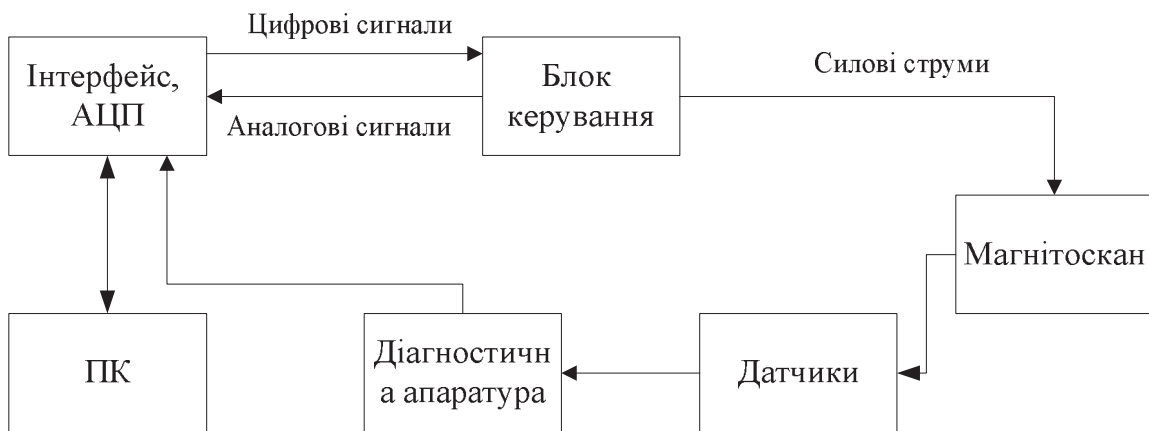


Рис. 1.32. Структурна схема МТА «Мультимаг-МК-03»



Рис. 1.33. Зовнішній вигляд МТА «КАП-МТ-8 Мультимаг»

МТА «Магнитор АМП» (рис. 1.34) призначений для впливу ОМП на весь організм пацієнта. Індуктор електромагніт представляє собою трьох-фазну двохполюсну електричну машину змінного струму, в якій розміщується пацієнт [22]. В даному апараті біотехнічний ЗЗ реалізується за частотою серцевих скорочень та температурою тіла пацієнта. Адаптація

біотропних параметрів МП відповідно до фізіологічних показників виконується за допомогою персонального комп'ютера. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 0,1-7,4 мТл, частота 50-160 Гц. Індуктор МТА «Магнитор АМП» має габарити 2100x1190x1300 мм, при цьому діаметр робочої області складає 700 мм.

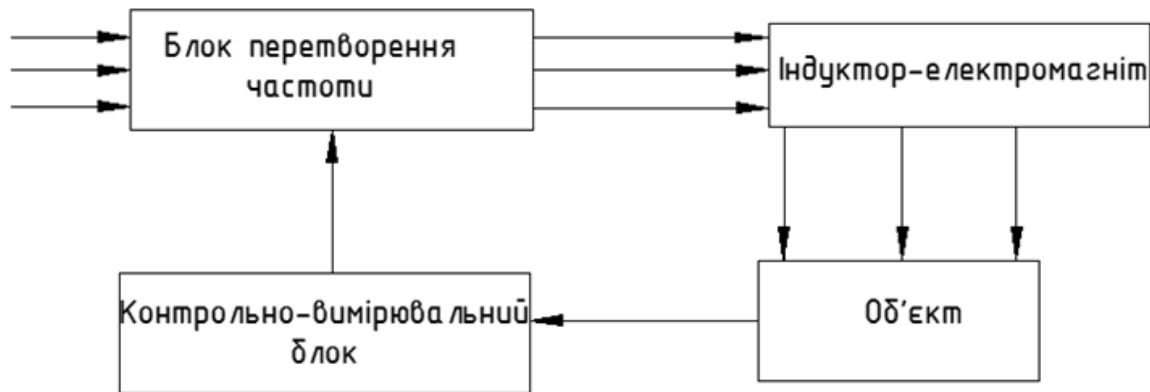


Рис. 1.34. Структурна схема МТА «Магнитор АМП»

Магнітотерапевтичний комплекс «Магнитотурботрон» (рис. 1.35) здійснює вплив МП одночасно на все тіло за рахунок розміщення пацієнта повністю усередині індуктора великого діаметра, що дозволяє одночасно діяти на всі системи організму, в тому числі нервову, ендокринну, серцево-судинну і лімфатичну, а також на обмін речовин та окисно-відновлювальні процеси. Магнітотерапевтичний комплекс «Магнитотурботрон» використовується при лікуванні ОМП наступних захворювань: артеріальної гіпертензії і її наслідків, органів травлення, психосоматичних розладів, порушень функцій опорно - рухового апарату, шкіри, дихальної системи, нервової системи, сечостатевої системи, залоз внутрішньої секреції, імунodefіцитних станів, онкологічних захворювань. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 0,5-3 (мТл), резонансні частоти МП. В апараті передбачена можливість регулювання частоти, направлення обертання поля, тривалість циклу і процедури, мікропроцесорне керування. В даний час випускаються дві модифікації апарату - «люкс» і «стандарт», які відрі-

зняються габаритними розмірами лікувальної камери і її внутрішнім діаметром. В модифікації апарату «люкс» передбачений захист від неправильного вмикання, від перепадів в електромережі, на більш широкі можливості вибору частотних характеристик МП різних законів модуляції, збільшення надійності та стабільності роботи за рахунок переходу на сучасну елементну базу.



Рис. 1.35. МТА «Магнитотурботрон»

Магнітотерапевтичний комплекс «Магнитотурботрон 2» є вдосконаленою моделлю апарату «Магнитотурботрон» (відрізняється більш широким діапазоном МП). Основні технічні характеристики МТА «Магнитотурботрон-2»: магнітна індукція 0,5 мТл - 12,5 мТл, резонансні частоти МП. Установка «Магнитотурботрон 2М» випускається серійно з 1994 року, а її модифікації «Магнитотурботрон 2 МА» та «ЕОЛ» - ЕМЗ «Авангард», відповідно, з 1996 та 1999 років. На рис. 1.36 приведено зовнішній вигляд МТА «Магнитотурботрон 2М».

Апарат магнітотерапії «R980 Cosmogamma» (фірма «Emildue», Італія) належить до МТАЗД та призначений для впливу СиМП на пацієнта (рис. 1.37). «R980 Cosmogamma» використовується в травматології, ортопедії, ревматології, при лікуванні хвороб судинної системи. Основні технічні характеристики: частота МП 50, 100 Гц, модульовані частоти

0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5; 10; 20 Гц, комплектується магнітним кільцем діаметром 61 см, терапевтичною дерев'яною або алюмінієвою кушеткою для проведення ЗМТ, таймером 0-99 хвилин з акустичним сигналом відключення, в апараті передбачено як ручне, так і автоматичне керування, електроживлення 220 В, 50 Гц, розміри апарату без кушетки 45 х 40 х 87 см, розміри кушетки 210 х 50 х 60 см, додатково може містити магнітне кільце діаметром 20 см.



Рис. 1.36. МТА «Магнитотурботрон 2М»



Рис. 1.37. МТА «R980 Cosmogamma»

Італійські виробники розробили серію апаратів «Magnetomed» для проведення низькочастотної магнітотерапії. Існує декілька модифікацій апаратів: «Magnetomed 7200», «Magnetomed 7400», «Magnetomed 8200», «Magnetomed 8400», «Magnetomed 2000».

«Magnetomed 2000» (рис. 1.38) використовується при лікуванні наступних захворювань: нервової системи, дихальної системи, гінекологічних захворювань, захворювань серцево-судинної системи, опорно рухового апарату, травної системи. Основні технічні характеристики: амплітудне максимальне значення магнітної індукції 10 мТл, частота МП 1-100 Гц, споживана потужність 410 Вт, напруга 220 В, вага апарату 4 кг, розмір апарату 385 x 135 x 300 мм, графічний дисплей LCD з технологією TFT, підставка, кушетка з рухомим соленоїдом (Ø60см довжиною 36 см), яка виготовлена зі спеціального легкого сплаву, наявність таймеру (1-60 хвилин), СР - пара магнітотерапевтичних аплікативів 16x10 см. СР-30 - індуктор у вигляді переносного циліндру діаметром Ø 30 см, СР-50 - індуктор у вигляді переносного циліндру діаметром Ø 50 см, категорія ізоляції I типу ВF класу безпеки (93/42/СЕЕ) II В, ступінь захисту від рідин IPX0, наявність більше 20 програм лікування найбільш розповсюджених захворювань, додатковими аксесуарами є голосовий синтезатор та радіочастотний пульт дистанційного керування, можливість виходу в мережу інтернет, запису та використання протоколів пацієнта, використання смарт карток, особливістю апарату є два повністю незалежних виходи для низькочастотної магнітотерапії, спеціальна технологія MFC екранування МП в соленоїдах.



Рис. 1.38. МТА «Magnetomed 2000»

«Magnetomed 8400» (рис. 1.39) використовується для лікування переломів, псевдоартрозу, хвороби Судека та остеопорозу, запальної та дегенеративної артропатії, облітеруючого артрити, пролежнів, псоріазу, ран та вугрів, артрозу, ревматизму, больових м'язових спазмів, інфекцій, запалень, хвороб ендокринної та лімфатичної систем. Основні технічні характеристики: магнітна індукція до 20 мТл, частота 1-100 Гц, вага 27 кг, комплектується підставкою на колесах, кушеткою, яка виготовлена з немагнітних сплавів (алюмінієвих), одним чи двома соленоїдами, індукторами циліндрами діаметром \varnothing 50 та \varnothing 30 см, напівциліндрами, локальними аплікаторами, передбачено до 4 каналів магнітотерапії, наявності персональний комп'ютер, 50 базових програм для лікування найбільш розповсюджених захворювань, спеціальна технологія MFC екранування МП поза соленоїдами, вбудований таймер, доступність режиму одночасного запуску необхідних програм на різних каналах терапії, можливість попередньої підготовки та використання смарт карт з індивідуальними користувацькими програмами, можливість запису протоколів сеансів фізіотерапії.



Рис. 1.39. МТА «Magnetomed 8400»

В таблиці 1.3 представлено промислові серійні МТАЗД. Позначення в таблиці: синусоїдальний (Sin), імпульсний (Імп), електромагніт (ЕМ).

Таблиця 1.3

Магнітотерапевтичні апарати загальної дії

Назва апарату	Вигляд струму живлення індуктора	Максимальне значення магнітної індукції, мТл	Частота МП, Гц	Тип індуктора	Відмінні особливості
1	2	3	4	5	6
Аврора МК-1	Постійний, Імп. Комбінований	5	0,1...100	ЕМ	Можливість синхронізації від датчика пульсу, комбіноване ІБМП
МАГНІТОР-АМП	Імп., Sin	5	50..160	ЕМ	Управління від ПК, автоматичний контроль температури і пульсу
Мультимаг МК-03	Імп., Sin	5	50..160	ЕМ	Управління ПК, авто-матичний контроль температури і пульсу
КАПМТ/8 - «Мультимаг»	Імп., Sin	5	0,01 -100	ЕМ	Біосинхронізація за частотою серцевих скорочень пацієнта
Магніто-турботрон	Імп., Sin	5	50..160	ЕМ	Управління від ПК
Магнітотурботрон-2	Імп., Sin	4	40..160	ЕМ	Управління від ПК

Закінчення таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6
R980 Cosmogamma	Sin	-	50,100, модульована 0.5,1,1.5,2,3, 5,10,20	ЕМ	Управління від ПК
Magnetom d 2000	Sin	10	1-100	Соленоїд	Два повністю незалежних виходи для низькочастотної магнітотерапії, наявність більше 20 програм лікування найбільш роз- повсюджених захворювань, кушетка, яка виконана з алюмінієвих сплавів, спеціа- льна технологія MFC екрану- вання МП в соленоїдах
Magnetom d 8400	Sin	20	1 - 100	Соленоїд	Управління від ПК, 4 канали магніто-терапії, наявність 50 програм ліку- вання найбільш розповсюджених захворювань, кушетка, яка виконана з алюмінієвих сплавів, спе- ціальна техно- логія MFC екра- нування МП поза соленоїдами

1.11. Конструкції індукторів та їх математичні моделі

Штучні постійні і змінні МП можуть створюватися за допомогою постійних магнітів, котушок індуктивності і електромагнітів. Індуктором називають технічний засіб, що є джерелом штучного МП в МТА. Для створення змінних, пульсуючих і імпульсних МП в медичній практиці широко використовуються індуктори у вигляді соленоїдів, циліндрових і нециліндрових коротких котушок, електромагнітів з сердечниками різної конфігурації, виготовлених з різних матеріалів [22]. Розглянемо основні типи індукторів, що використовуються в магнітотерапії, і властивості МП, що генеруються ними.

Соленоїд. Циліндричну котушку, що складається, здебільшого, з великого числа витків дроту, який створює гвинтову лінію, намотаних по циліндричній спіралі, називають соленоїдом. При умові, що товщина дроту істотно менша у порівнянні з довжиною соленоїду, а крок спіралі досить малий (витки розташовані впритул один до одного), спіраль можна наближено замінити системою замкнутих кільцевих витків однакового радіусу з загальною віссю. МП створюється електричним струмом при протіканні по витках соленоїда. Якщо соленоїд можна умовно вважати нескінченно довгим (якщо його довжина набагато більше діаметра), то МП всередині соленоїда аксиальне і однорідне, а поза соленоїдом воно дорівнює нулю.

Котушка представляє собою систему послідовно сполучених кругових витків однакового радіусу, що має загальну вісь (рис. 1.40 (а)). При протіканні по витках струму утворюється МП, силові лінії якого представлено на рис. 1.40 (г). Частина силових ліній проходить через обмотку котушки. Лінії магнітної індукції довгого соленоїда практично паралельні один одному. Поле всередині такого соленоїда рівномірне і однорідне. Напрямок вектора магнітної індукції визначається за правилом буравчика і збігається з напрямом осі X. Усередині довгого соленоїда існує лише аксиальна складова

індукції B_x . Максимальне значення індукції B_{x0} на осі має місце в точці, що розташовується посередині соленоїда [65]:

$$B_{x0} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{1}{\sqrt{4r^2 + l^2}}, \quad (1.14)$$

де I -струм, що протікає через котушку;

N - число витків;

μ - магнітна постійна;

μ_0 - відносна магнітна проникність середовища;

l - довжина котушки;

r - радіус намотування.

Розподіл значень індукції практично рівномірний по всій довжині осі соленоїда і знижується на кінцях ($x_{zp} = \pm l/2$) до значення (рис. 1.40 (в)):

$$B_{x_{zp}} = \mu\mu_0 NI \frac{1}{2l}. \quad (1.15)$$

Для соленоїдів кінцевої довжини значення індукції на осі розраховується за формулою [20]:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \cdot \frac{0,2\pi}{l} \left(\frac{v_1}{\sqrt{r^2 + v_1^2}} + \frac{v_2}{\sqrt{r^2 + v_2^2}} \right), \quad (1.16)$$

де $v_1 = x + l/2$, $v_2 = x - l/2$ при $x > l/2$;

$v_1 = x - l/2$, $v_2 = x + l/2$ при $x < l/2$;

$v_1 = l/2 - x$, $v_2 = x + l/2$ при $-l/2 < x < l/2$.

Розподіл аксіальної складової індукції B_x в перетині $x = 0$ соленоїда показано на рис. 1.40 (б).

Існують експериментальні і серійні магнітотерапевтичні установки, в яких використовуються дані індуктори-соленоїди. В комплекті апарату «Поліус-2», є два соленоїди (розміри 0270x0265x150 мм), що живляться синусоїдальним струмом. При проведенні процедур індуктори-соленоїди зазвичай надівають на кінцівки, тулуб або шию пацієнта. Вектор магнітної індукції при цьому направлений уздовж тіла або кінцівок людини.

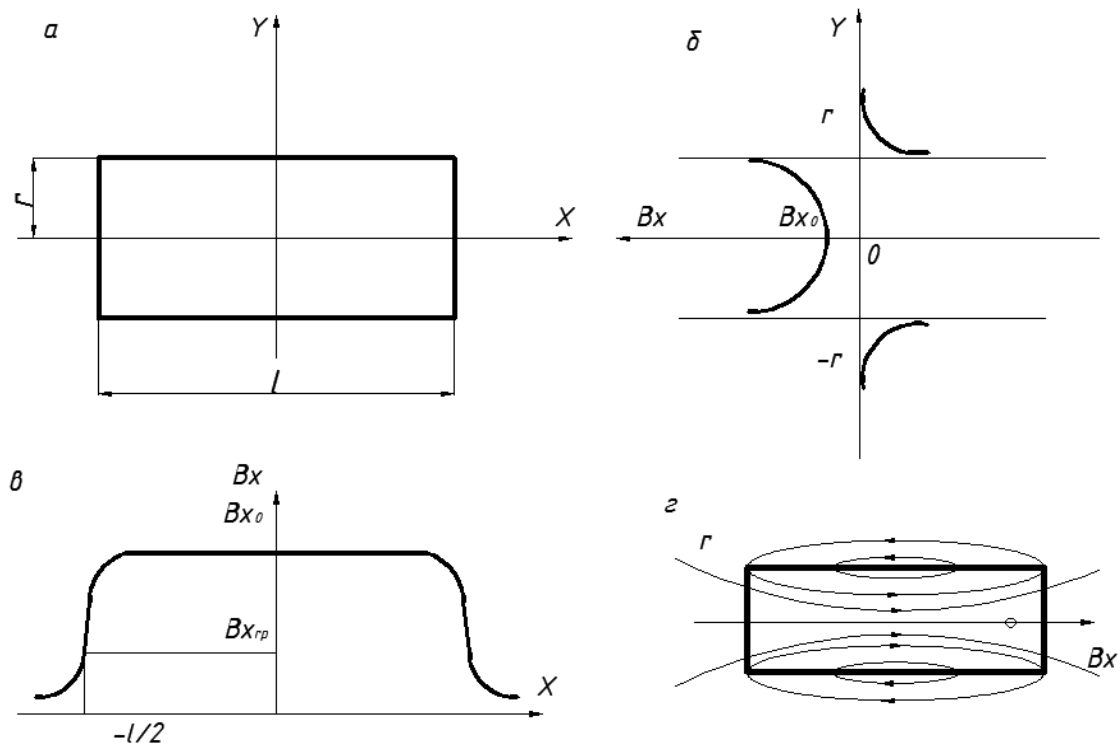


Рис. 1.40. Одношаровий соленоїд: а) геометрія; б) розподіл індукції B_x по перетину; в) розподіл індукції B_x по осі; г) силові лінії

Використовуються апарати з торцевим МП соленоїда. При цьому індуктори-соленоїди розташовуються перпендикулярно поверхні тіла людини, вектор магнітної індукції B_x також перпендикулярний поверхні тіла. Як приклад можна привести апарат «Ронефор» (Італія), в якого індуктор-соленоїд (діаметр 50 см) встановлений вертикально і переміщується відносно пацієнта, який лежить нерухомо.

Плоска циліндрична котушка (короткий соленоїд). Конструктивно індуктор є циліндричною котушкою, як правило, багатшаровою, такою, що має довжину, суттєво меншу в порівнянні з діаметром. МП симетричне відносно осі, нерівномірне і неоднорідне. На рис. 1.41 (г) представлені силові лінії МП короткого соленоїда. Вектор магнітної індукції має аксіальну B_x і радіальну B_r складові. Значення максимальної індукції B на осі в центрі котушки з середнім радіусом r знаходиться за формулою [22]:

$$B_{x0} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{1}{2r}, \quad (1.17)$$

а в довільній точці x осі:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{r^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}. \quad (1.18)$$

Розподіл значень індукції B_x уздовж осі представлений на рис. 1.41 (в). Розподіл індукції може бути набутий лише в першому наближенні і за умови, що розміри котушки $a, b \ll r$ (рис. 1.41 (а)), де a - товщина котушки, b - довжина. На рис. 1.41 (а) котушка - кільце, яке можна розглядати як еквівалентний виток зі струмом. Розподіл значень аксіальної B_x і радіальної B_r складових вектора магнітної індукції показаний на рис. 1.41 (б). Врахуємо геометричні розміри котушки, підставивши в формули (1.17) та (1.18) замість середнього радіусу еквівалентний:

$$r_t = r \left(1 + \frac{b}{24r^2} \right), \quad (1.19)$$

де r_t - еквівалентний радіус;

r - середній радіус котушки;

b - довжина соленоїда.

Геометрія плоскої циліндричної котушки описується іншим способом - внутрішнім радіусом r_1 , зовнішнім радіусом r_2 та товщиною a . Товщина котушки в цьому випадку дорівнює

$$a = r_2 - r_1. \quad (1.20)$$

При умові $a \ll b$ магнітна індукція на осі котушки розраховується за формулою

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{0.2\pi}{r_2 - r_1} \left(\frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + x^2}} - \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + x^2}} + Ln \frac{r_2 + \sqrt{r_2^2 + x^2}}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x^2}} \right). \quad (1.21)$$

При умові, що розміри котушки a, b, r близькі по значенню одне до одного, розрахунок магнітної індукції суттєво ускладнюється [22]. Додатково необхідно враховувати конфігурацію котушки і розсіювану потужність. Формули для розрахунку радіальної B_r , аксіальної B_x складових і градієнта $\text{grad}B$ магнітної індукції складні. В магнітотерапії короткі соленоїди в якості індукторів широко застосовуються.

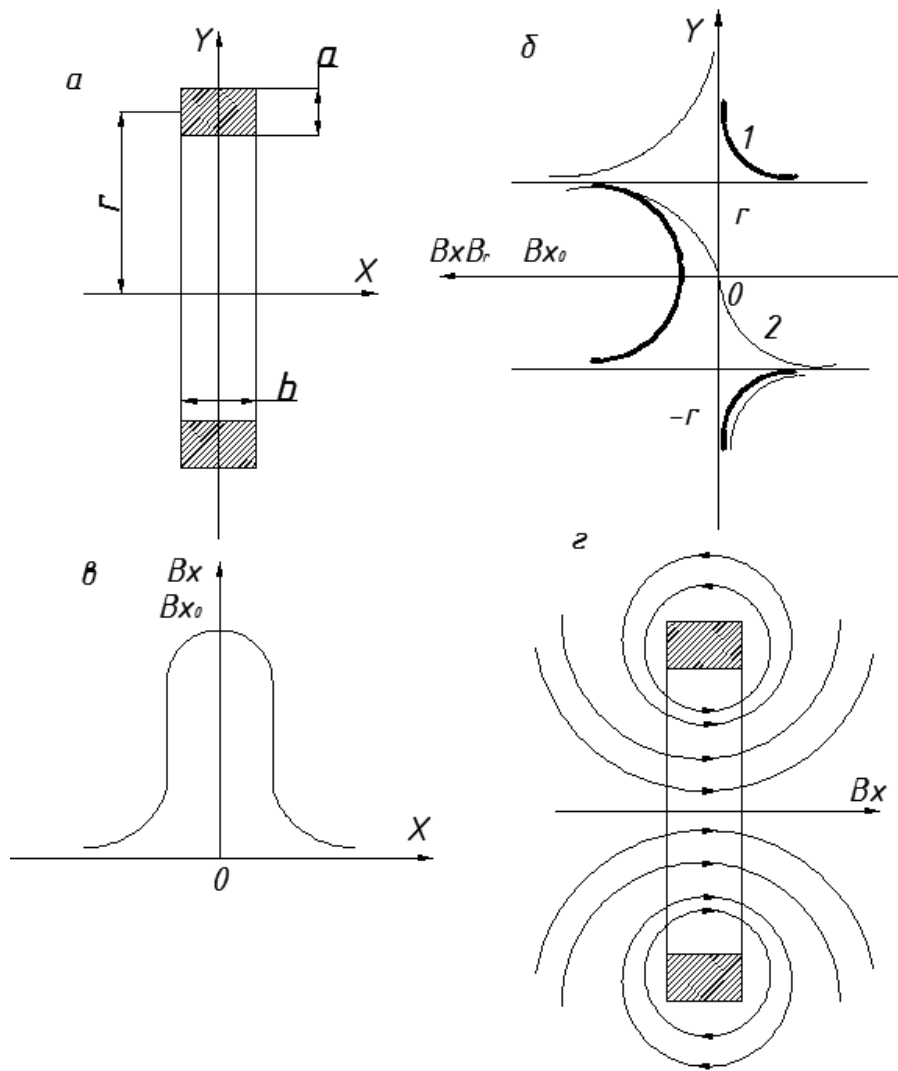


Рис. 1.41. Коротка циліндрична котушка: а) геометрія;
 б) розподіл індукції B_x (крива 1) і B_r (крива 2) в перетині;
 в) розподіл індукції B_x по осі; г) силові лінії МП

У магнітотерапії широко застосовуються короткі соленоїди. В апараті «Полюс-101» використовуються дві котушки (розміри $\text{Ø}220 \times \text{Ø} 264 \times 35$ мм), живлення яких здійснюється синусоїдальним струмом. Апарат «Полемиг» комплектується декількома циліндричними (розміри $\text{Ø} 126 \times \text{Ø} 136 \times 15$ мм) і еліптичними (розміри $\text{Ø} 195 \times \text{Ø} 79 \times 15$ мм) котушками, що живляться імпульсним струмом. У апараті «Алимп-1» є вісім котушок (внутрішній діаметр 105 мм і 185 мм), які живляться імпульсним струмом і можуть створювати ОМП. В розглянутих МТА індуктори можуть як надіватися на кінцівки пацієнта, при цьому вектор магнітної індукції B_x направлений

уздовж кінцівок, так і накладатися на різні ділянки тіла, при цьому вектор магнітної індукції \mathbf{B}_x перпендикулярний до поверхні тіла пацієнта.

В коротких соленоїдах для лікування використовується як внутрішньо-виткове поле, де силові лінії направлені уздовж тіла і кінцівок пацієнта, так і торцеве поле, в якого аксіальна складова вектора магнітної індукції перпендикулярна до поверхні тіла [22].

Система двох плоских циліндричних котушок (котушки Гельмгольца). Системою Гельмгольца називають дві плоскі циліндричні котушки, розміщені так, щоб їх різнойменні полюси знаходились один проти іншого.

Характерною особливістю системи двох паралельних котушок є те, що в просторі між ними утворюється однорідне і рівномірне МП, картину силових ліній якого представлено на рис. 1.42 (г). В просторі між котушками існує одна аксіальна складова B_x вектора магнітної індукції. З зовнішніх сторін котушок є і радіальна складова B_r . Значення індукції уздовж осі X для двоконтурної системи розраховується за формулою [65]:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{0.2\pi}{r} \left(\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{r}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{r}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right), \quad (1.22)$$

в точці $x=0$:

$$B_{x0} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{0.4\pi}{r} \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}. \quad (1.23)$$

Розподіл аксіальної складової індукції B_x по осі показано на рис. 1.42 (в), по перетину $x = 0$ - на рис.1.42 (б).

Оптимальна відстань між котушками (зазор l) не може перевищувати середній радіус r [22].

У промислових апаратах «Полюс-101», «Полеміг», «Алімп-1», індуктори яких виконані у вигляді кілець (коротких циліндрових котушок), реалізований режим роботи, що визначається системою Гельмгольца.

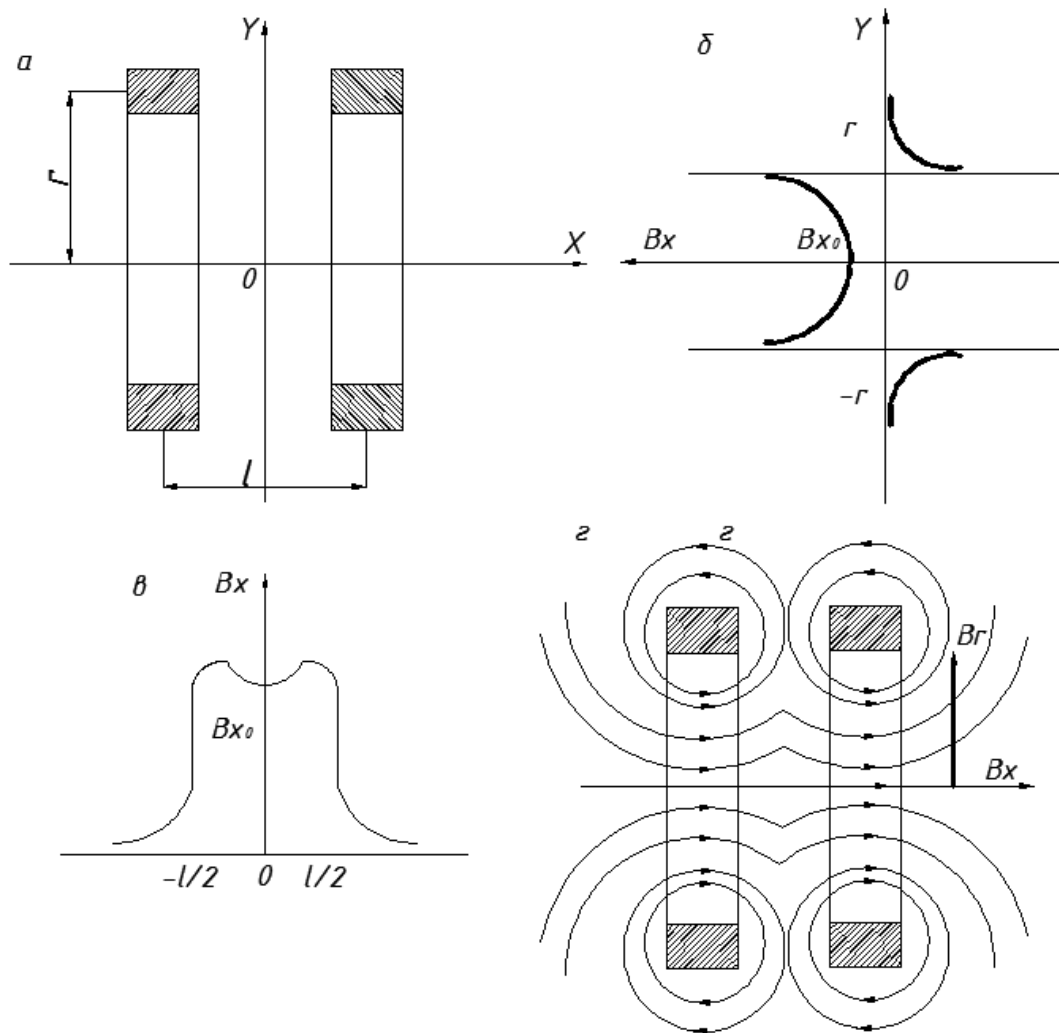


Рис. 1.42. Система двох плоских циліндричних котушок:
 а) геометрія; б) розподіл індукції B_x по перетину $x = 0$;
 в) розподіл індукції B_x по осі; г) силові лінії МП

Електромагніт - котушка індуктивності (багатошарова) з феромагнітним сердечником. МП електромагніта залежить від конструкції сердечника, числа витків та сили струму в котушці. В сердечнику електромагніту, що призначений для впливу на біологічний об'єкт, має місце розрив суцільності. Магнітний потік суттєво зменшує наявність зазору. Внаслідок цього немає насичення магнітопроводу, що приводить до нелінійних ефектів в магнітному ланцюгу. Завдяки цьому в МТА магнітна індукція завжди прямо пропорційна силі струму, що проходить через магнітний індуктор. В сердечниках електромагнітах застосовуються магнітом'які матеріали з вузькою

петлею гістерезису та малою коерцитивною силою, тому після виключення струму сердечник практично повністю розмагнічується [65]. Змінний магнітний потік створює в сердечнику струми Фуко, що призводить до розігріву сердечника та тепловим втратам енергії. Щоб запобігти цьому, сердечники магнітних індукторів виготовляють з тонких пластин електротехнічної сталі, ізольованих одна від одної. Товщина пластин складає 0,05-0,5 мм і повинна бути тим меншою, чим вища частота поля [65].

Наявність сердечника з великою відносною магнітною проникністю суттєво підсилює і концентрує в індукторі магнітний потік. Це дозволяє при одних і тих же параметрах МП суттєво зменшувати габарити індукторів. Використовуючи конструкцію, технологію і матеріал сердечника при відповідних габаритах індукторів, можна формувати поля заданої форми, забезпечувати потрібну глибину проникнення, необхідну міру локалізації. Залежність скалярного магнітного потенціалу φ_M і нерівномірно розподіленої намагніченості M описується рівнянням Пуассона [22]

$$\nabla^2 \varphi_M = -\text{div}M. \quad (1.24)$$

Розв'язання цього рівняння ускладнюється тим, що розподіл величини M невідомий. Результати досліджень показують, що в загальному випадку вектори індукції B , напруженості МП H і намагніченості M не збігаються за напрямом, окрім точок, що лежать на осі (рис. 1.43) [22].

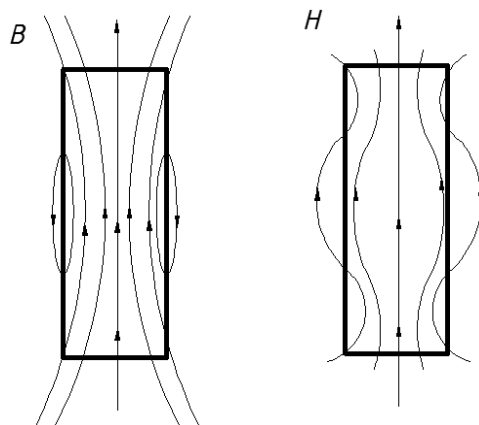


Рис. 1.43. Розподіл магнітної індукції B і напруги H МП в розімкненому зразку ферромагнітного матеріалу

На рис. 1.44 (а) показана геометрія індуктора електромагніта. Розподіл магнітної індукції по перетину сердечника нерівномірний (рис. 1.44 (б, в)) [22].

Максимум індукції B_0 досягається на осі сердечника в середньому перетині. Розподіл індукції B_x по осі обчислюється за формулою [65]:

$$B_x = B_0 \left(1 - k \frac{4x^2}{l_c^2}\right), \quad (1.25)$$

де l - довжина сердечника;

k - коефіцієнт, що залежить від конструкції сердечника;

$k = 0,9$ - для сердечника круглого перетину;

$k = 0,75$ - для сердечника з прямокутним перетином.

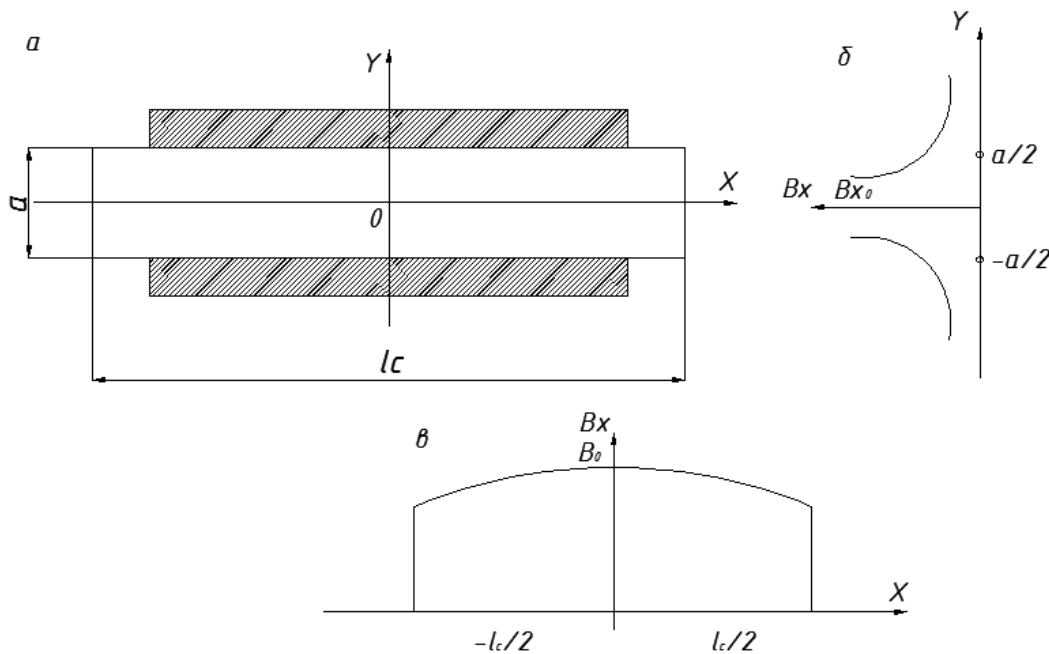


Рис. 1.44. Індуктор-електромагніт: а) геометрія;

б) розподіл індукції B_y по перетину $x=0$; в) розподіл індукції B_x по осі сердечника

Моделювання та експериментальні дослідження [22] підтверджують, що по перетину індукція B_y розподілена відповідно до рис. 1.44 (б). Максимум досягається на поверхні сердечника в перетині $x = 0$. Індукція спадає пропорційно квадрату відстані.

В МТА застосовуються електромагніти з осесиметричними полями (рис. 1.45) - з прямими сердечниками прямокутного (б) або круглого (а)

перетину. Використовуються електромагніти з П - образними сердечниками, МП яких нерівномірне, неоднорідне та локалізоване між полюсами. Полюси в осесиметричних магнітах розташовуються на протилежних торцях прямих сердечників.

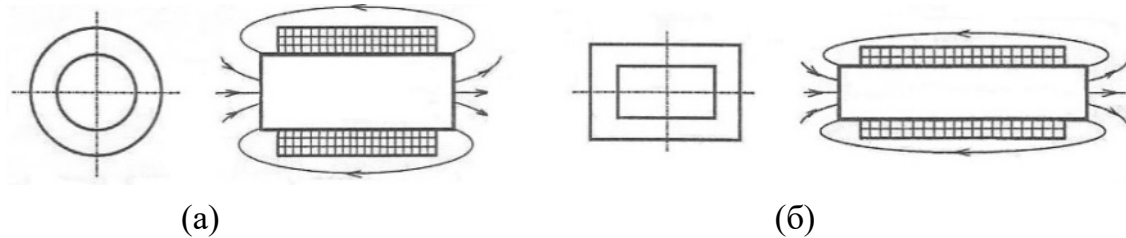


Рис. 1.45. Індуктори-електромагніти з осесиметричними полями:
сердечник круглого перетину (а), сердечник прямокутного перетину (б)

Нами запропоновано конструкції комбінованих фізіотерапевтичних випромінювачів [105, 106], які дозволяють підвищити лікувальний ефект при проведенні процедури магнітотерапії.

1.11.1. Види систем індукторів загальної дії

Розглянемо індуктори, що використовуються в МТАЗД (порівняльний огляд МТАЗД проведено в п. 1.10.3).

Існують наступні конструкції магнітних індукторів апаратів загальної дії [22]:

- у формі площини, на якій розташовується пацієнт;
- у формі двох площин, між якими розташовується пацієнт;
- у формі циліндра, усередині якого розташовується пацієнт;
- за формою тіла пацієнта.

Лікувальний ефект є кращим в конструкції, що враховує форму тіла пацієнта.

Проаналізуємо інженерні рішення магнітних індукторів апаратів загальної дії.

Магнітотерапевтичні комплекси можуть бути реалізовані на базі кушетки, крісла, ліфта виходячи з просторових положень людини, згідно

яким забезпечуються: горизонтальне положення людини (лежачи), положення сидячи (напівлежачи) і вертикальне положення (стоячи) (рис. 1.46 (а, б, в)). пристрої магнітотерапії загальної дії можуть бути виконані також наступними інженерними рішеннями: у вигляді жорсткого і напівжорсткого костюмів, які розташовані на кушетці, а також у вигляді гнучкого костюма (рис. 1.47 (а-д)).

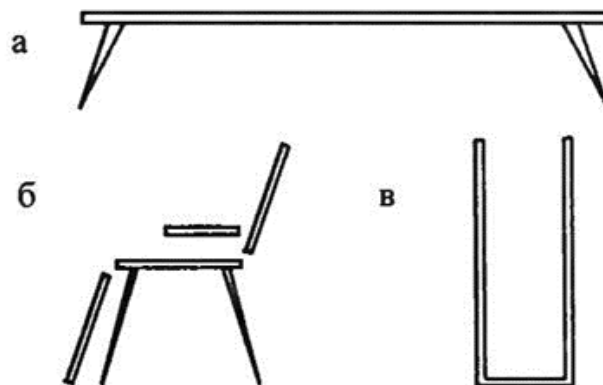


Рис. 1.46. Базова конструкція для розміщення індукторів МТА:

а) кушетка; б) крісло; в) ліфт

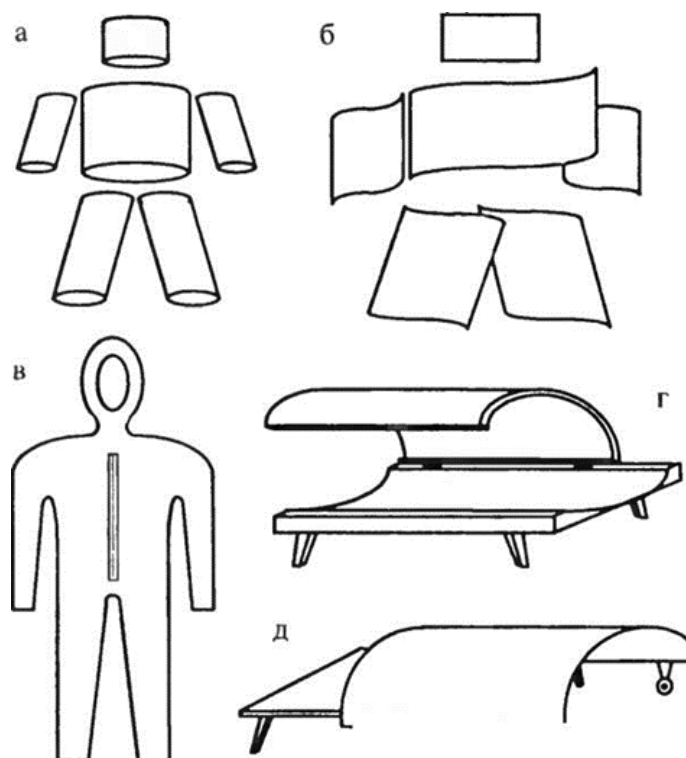


Рис. 1.47. Магнітотерапевтичні комплекси: а) жорсткий костюм; б) напівжорсткий костюм; в) еластичний костюм; г) «валіза»; д) «пенал»

Найбільш важливим критерієм проектування МТА та індукторів загальної дії є критерій ефективності лікування МП. Проте практичній реалізації цього критерію заважає недостатній рівень математичного моделювання впливу МП на біологічний об'єкт. Технічне рішення у вигляді гнучкого еластичного магнітного костюма [що нагадує гідрокостюм, як показано на рис. 1.47 (в)] не зручне через велику масу (більше 100 кг) при впливі штучних МП. Тому виникає необхідність використання жорсткого каркасу (або підставки), на який приходиться все зовнішнє навантаження. На рис. 1.48 представлено магнітний скафандр, основою якого є горизонтальна підставка, на якій розташована система індукторів, що складається з 48 циліндрових котушок (коротких соленоїдів) [22]. Вся система розділена на 6 сегментів: один-для голови, один-для тулуба і по два-для ніг і рук. Кожен сегмент складається з восьми індукторів. Розміри індукторів (діаметр внутрішній): $\varnothing 295 \times 35$ мм (для голови); $\varnothing 500 \times 50$ мм (для тулуба); $\varnothing 250 \times 100$ мм (для ніг); $\varnothing 200 \times 40$ мм і $\varnothing 170 \times 80$ мм (для рук).

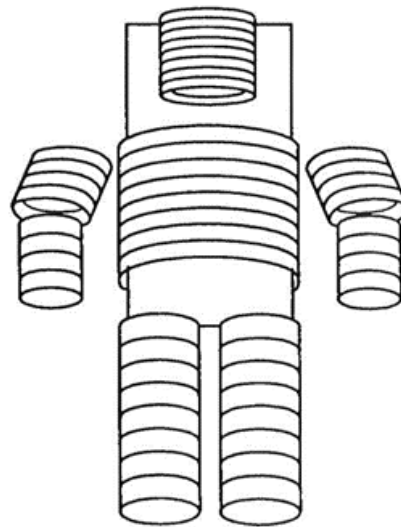


Рис. 1.48. Схематичне зображення конструкції магнітного скафандра

Магнітний скафандр представляє собою конструкцію з жорстких циліндрів. Під час проведення магнітотерапевтичної процедури пацієнт одягає даний магнітотерапевтичний пристрій. Положення пацієнта при фізіотерапії - горизонтальне (лежачи).

Всі магнітні індуктори з однаковим номером у кожному сегменті вмикаються паралельно і утворюють один канал, що складається з восьми каналів. Канали магнітного скафандра живляться імпульсним струмом від блоку керування, що має вісім виходів, по кожному з яких можливе регулювання амплітуди струму, при цьому МП низько інтенсивне. Система магнітних індукторів скафандру формує ІБМП, що впливає на весь організм пацієнта. Перемикання каналів магнітних індукторів може здійснюватися по черзі [22].

Розглянемо вдосконалення конструкцій індукторів магнітотерапевтичних комплексів загальної дії рязанської наукової школи магнітотерапії починаючи з першого МТА «Звезда» і до сучасного МТА «Мультимаг». Індуктори апарату «Звезда» представляють собою короткі циліндричні котушки. Зовнішній вигляд магнітного скафандра апарату «Звезда» показано на рис. 1.49.

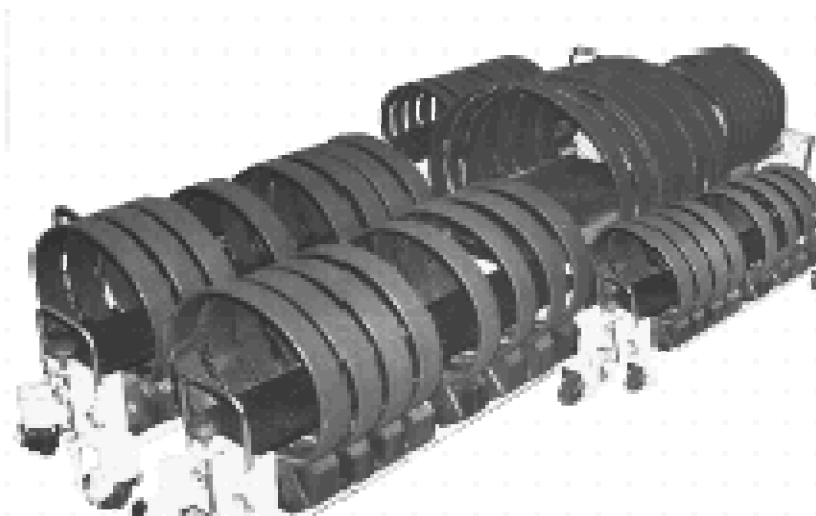


Рис. 1.49. Зовнішній вигляд скафандра МТА «Звезда»

Недоліки апарату «Звезда» привели до появи нової, більш ефективної конструкції - апарату «Аврора МК-01», в якому для голови, тулуба і кінцівок людини застосовується площина, яка приймає та підтримує циліндричну форму за рахунок пружних сил. Основу магнітотерапевтичного комплексу складає комірчаста площина матричного типу, у вічка якої вставляються

малогабаритні плоскі індуктори-електромагніти. Всього використовується 400 індукторів, які розподіляються по 6 сегментам (для голови, тулуба, кінцівок).

У «м'якому» скафандрі апарату «Аврора МК-01» індуктори розташовані за матричною структурою та укладені в матерчасті вічка і прошиті між двома шарами тканини, що сумісна з БТ людини (рис. 1.50).

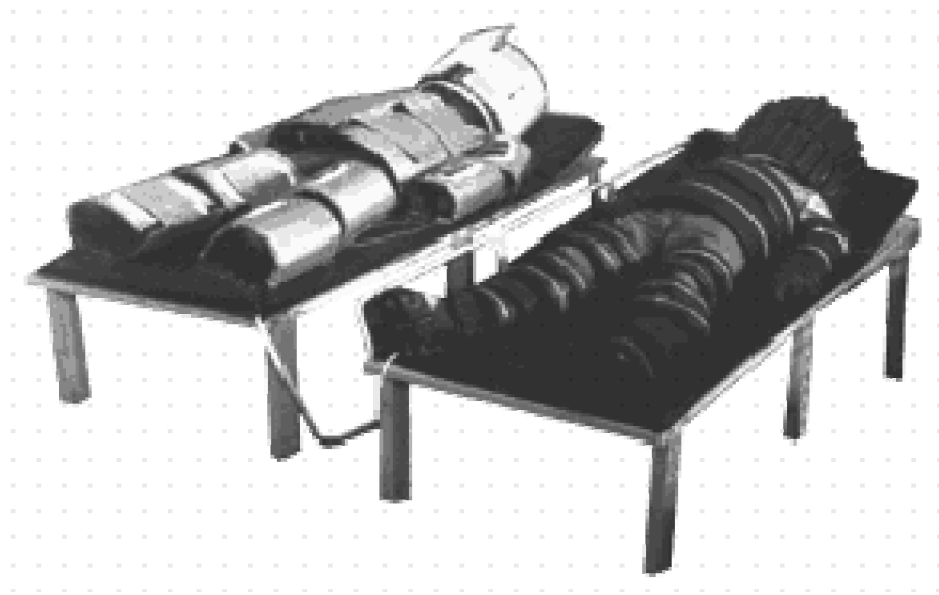


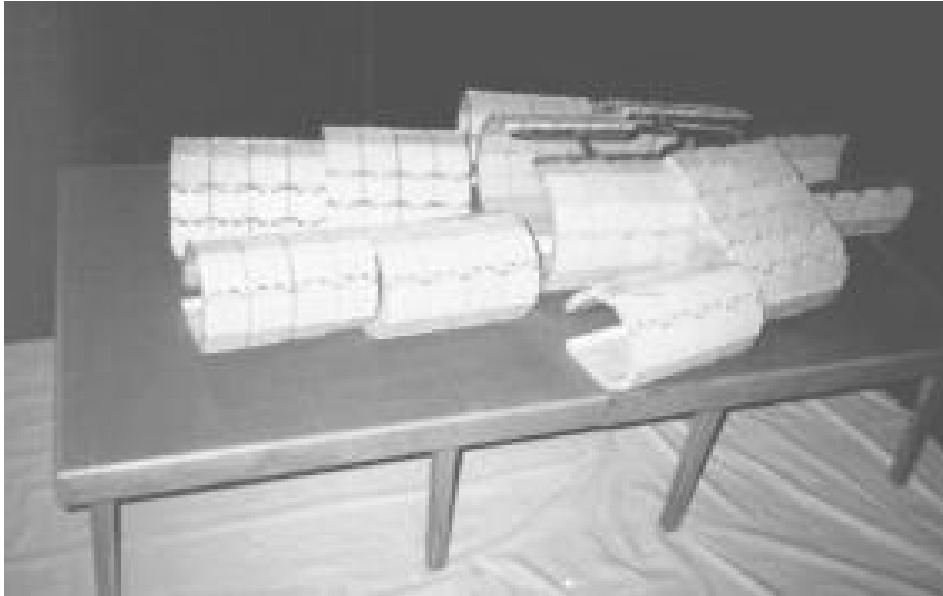
Рис. 1.50. Приклади «м'яких» скафандрів апарату «Аврора МК-01»

Дане інженерне рішення має безперечні переваги: комфортне розташування пацієнта в магнітотерапевтичному комплексі (площина розгортається, пацієнт лягає і його накривають випромінюючими площинами), форма випромінюючої поверхні внаслідок своєї гнучкості і м'якості повторює форму тіла людини. Суттєвим недоліком є велика маса випромінюючих площин (близько 100 кг), а маса, що приходить на організм хворого, складає приблизно 30 кг, внаслідок чого відбувається відчуття дискомфорту для пацієнта та обмежує тривалість процедури магнітотерапії.

Наступною модифікацією магнітотерапевтичного комплексу «Аврора МК-01» стало створення гнучкої конструкції, заснованої на використанні жорстких корпусів у формі прямокутного паралелепіпеда з пластмаси, в кожному з яких розміщується індуктор-електромагніт. Площини

формується в циліндри довкола частин тіла, але, на відміну від «м'якого» скафандра, випромінюючі площини не тиснуть на пацієнта, оскільки набувають форми циліндрів (за рахунок технологічних рішень).

На рис. 1.51 представлено магнітний скафандр МТА «Аврора» в робочому стані.



*Рис. 1.51. Магнітний скафандр комплексу «Аврора МК-01»
в робочому стані*

У подальшій моделі комплексу «Аврора МК-01» пристрій магніто-терапевтичної дії виконаний у вигляді магнітного крісла. Дане конструктивне рішення пояснюється двома причинами. По перше, у попередніх конструкціях апаратів «Звезда» і «Аврора» мав місце ефект замкнутого простору у хворих. По-друге, у людей з дуже ураженими нижніми кінцівками виникають ускладнення, пов'язані з переміщенням їх в апарат на основі кушетки, і особливо, виходу з нього.

Конструкція апарату у вигляді крісла вирішує ці питання. На кріслі розташовано дві грудні секції, дві секції для рук, дві секції для ніг і напів-секція для голови. Всього розміщено 400 індукторів у вигляді плоских електромагнітів. Всі секції МТА виконані у вигляді гнучких листів з пінополіуретана [22]. Нове конструктивне виконання «м'якого» скафандра із

зменшеними розмірами системи індукторів та вертикальне положення тулуба пацієнта (або положення напівлежачи) забезпечують досить комфортні умови для людини під час проведення процедури лікування.

Подальше вдосконалення магнітотерапевтичних комплексів сімейства «Аврора МК» було пов'язане з розробкою індукторів у вигляді площинних магнітосканів (рис. 1.52).

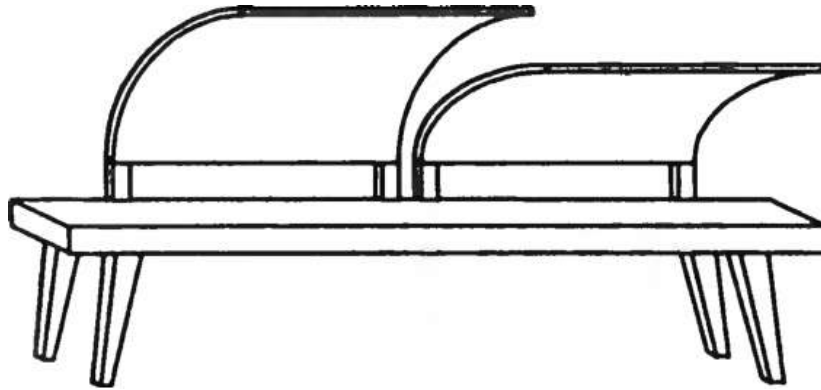


Рис. 1.52. Схематичне зображення конструкції площинного магнітоскана

Характерною особливістю конструкції даного МТА є розміщення системи індукторів в двох площинах: нижній прямолінійній (поверхня кушетки) і верхній криволінійній (піднімальний навіс). Розташування індукторів в жорстких площинах надає даному інженерному рішенню додаткові переваги: суттєво збільшується надійність, електробезпека конструкції магнітотерапевтичного комплексу та зручніше користування даною модифікацією МТА «Аврора». Одним з перспективних напрямів стало використання плоских безкаркасних котушок (ПБК) індуктивності (рис. 1.53). Дані котушки орієнтовані своєю віссю перпендикулярно об'єкту випромінювання і легко розміщуються в конструкції площинного магнітоскана. Дане технічне рішення розширює можливості МТА в генерації штучних МП, ефективних при лікуванні захворювань. Використання ПБК дозволяє створювати в тому ж самому робочому об'ємі котушок більш неоднорідне МП, оскільки швидкість зміни величини і напрямку вектора магнітної індукції збільшується за рахунок дії в площині пари паралельних, дзеркально-відобра-

жених джерел випромінювання. Технологія виготовлення ПБК проста і зводиться до намотування на диску кругового контура із заданим числом витків.

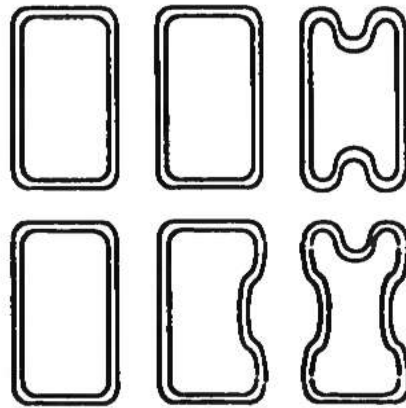


Рис. 1.53. Фрагмент секції, зібраної з плоских котушок індуктивності

Форму і співвідношення геометричних розмірів гнучких ПБК можна змінювати відповідно до вимог конструкції магнітоскана. Це дозволяє створювати при однакових параметрах струму, що протікає, складну неоднорідну конфігурацію МП.

Розглянуті випромінювачі МП і системи на їх основі, дозволяють суттєво розширити функціональні можливості апарату в плані формування різних конфігурацій МП та покладені в основу розробки нового сімейства комплексів магнітотерапії типу «Мультимаг». На рис. 1.54 та 1.55 представлено два зовні схожих експериментальних зразка площинних магнітосканів з індукторами-електромагнітами і з ПБК.



Рис. 1.54. Зовнішній вигляд конструкції площинного магнітоскана

З метою покращення лікувального ефекту, вдосконалення біотехнічного і медико - технічного ЗЗ, розширення функціональних можливостей, покращення технічних характеристик і експлуатаційних якостей (зручність для пацієнта і для роботи медичного персоналу), досягнення сучасного дизайну на базі ефективних інженерно - технічних рішень розроблена конструктивна модель магнітоскана для магнітотерапевтичних комплексів сімейства «Мультимаг» (рис. 1.55).

У цій моделі забезпечено комфортне розміщення пацієнта, при якому вся вага конструкції з індукторами переноситься на загальну підставку. Верхня площина магнітоскана закріплена шарнірно і обертається відносно нижньої на заданий кут піднімальним пристроєм за допомогою штока, що приводиться в рух електродвигуном.



Рис. 1.55. Конструкція магнітоскана магнітотерапевтичних комплексів сімейства «Мультимаг»

1.12. Класифікація магнітотерапевтичної апаратури, напрямки розвитку апаратів магнітотерапії, зворотній зв'язок

Аналіз діючих МТА (табл. 1.1-1.3) показує, що більшість з них побудована на основі однонаправленого керування. Такий терапевтичний вплив не враховує при формуванні параметрів МП індивідуальні фізіологічні

показники пацієнта, його функціональний стан під час лікування, а також механізм звикання організму до дії МП. Наслідком цього є зниження лікувального ефекту МП і необхідність створення МТА зі ЗЗ від пацієнта. ЗЗ у вигляді сукупності сигналів, які поступають від пацієнта, дає можливість встановлювати параметри в режимі магнітотерапії перед початком лікувального сеансу та змінювати їх при сеансу з досягненням максимального лікувального ефекту [107, 108].

Виникають запитання щодо практичної реалізації принципу адаптивного керування: вибір діагностичного параметру чи набору параметрів пацієнта для аналізу стану пацієнта безпосередньо під час сеансу магнітотерапії, забезпечення оперативного контролю стану систем організму пацієнта та їх діагностика під час процедури, оперативна зміна біотропних характеристик МП впродовж (сеансу магнітотерапії у відповідності до стану пацієнта для більшого терапевтичного ефекту під час курсу лікування [27, 28, 107]. Можливість оперативної діагностики та здійснення режиму варіювання впливу може дати спеціальна перешкодозахищена вимірювальна та діагностична апаратура, що включається в контур біотехнічного ЗЗ.

Основні об'єкти, що охоплюються ЗЗ, можна розділити на [108]:

- медичні (підбір та налаштування методик до конкретного біологічного об'єкту, контроль результатів впливу безпосередньо під час та після курсу магнітотерапії лікарем);

- біотехнічні (корекція лікувального впливу та контроль за станом пацієнта, синхронізація впливу з його біоритмами);

- технічні (контроль біотропних параметрів діючого МП, порівняння їх з необхідними, при необхідності корекція роботи блоку керування та забезпечення електромагнітної сумісності МТА з діагностичною апаратурою).

Розробка нових типів апаратів за рахунок організації технічних і медико-технічних ЗЗ дозволяє розширити функціональні можливості та сервісні функції МТА, забезпечуючи автоматичний контроль самої апаратури,

в тому числі її відключення при аварійних ситуаціях, так і виконання операцій налаштування на конкретного пацієнта (врахування інерційності реакції БО, синхронізацію з діагностичною апаратурою та біоритмами пацієнта, адаптацію біотропних параметрів МП до періоду пульсу, дострокове припинення процедури магнітотерапії) [27, 107-109].

На сучасному етапі розвитку фізіотерапії завдання магнітотерапії полягає не стільки в розробці нових методів, скільки в оптимізації вже відомих [вибору оптимальних параметрів впливу МП (параметричний ЗЗ), врахуванні фізіологічних показників (фізіологічний ЗЗ), біологічних ритмів організму (хронобіологічний ЗЗ), відповідність біофізичним властивостям та частоті БТ (біорезонансний ЗЗ)], що покладено в основу розробки нового покоління біокерованих (на принципі ЗЗ) МТА [17, 110].

Параметрична оптимізація - це досягнення максимального терапевтичного ефекту шляхом використання оптимальних біотропних параметрів МП (магнітна індукція, частота, форма поля, експозиція, модуляція за амплітудою та частотою, локалізація та інш.).

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.

Біорезонансна оптимізація - це відповідність параметрів магнітотерапевтичного впливу біофізичним характеристикам тканин, клітин та молекул організму людини, що дозволяє здійснювати не тільки вибірккову (селективну), але і максимально специфічну дію. При цьому частота впливу МП повинна відповідати резонансним частотам БТ.

Успішне розв'язання даної задачі дозволило б розробити оптимальні схеми лікування хворих та сприяло б створенню нових МТА.

Основні напрями розробки нової МТА полягають в реалізації наступних принципів [16, 17, 29, 68, 111-113]:

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

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

- адаптивність (використання технічних, біотехнічних і медичних ЗЗ, що реалізують методи адаптивної та 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;

- розширення динамічного, часового та частотного діапазонів МТА;

- підвищення точності, швидкодії засобів генерації МП (індукторів);

- розробка засобів контролю МТА, які працюють з більшою точністю з розширеними функціональними можливостями.

В роботі Г. Р. Соловйової [15] запропоновано класифікацію магнітотерапевтичних пристроїв за конструктивними особливостями: в залежності від частоти (f) МП: постійної та змінної ($f < 50$ Гц, $f = 50-150$ Гц, $f > 150$ Гц), за типом магнітного індуктора (індуктори-електромагніти, індуктори-соленоїди), за режимом живлення індуктора (неперервним та перервним), стаціонарністю (з нерухомим джерелом (стаціонарні) та з рухомим джерелом (переносні)), струмом живлення індукторів (постійним, імпульсним, синусоїдальним, пульсуючим). Дана класифікація не враховує локалізацію дії МП на БТ, комбіновані методи магнітотерапії, ЗЗ, тип керування МТА, інтенсивність МП. Тому актуального значення набуває удосконалення даної класифікації відповідно до вимог сучасних МТА.

На основі проведеного патентного пошуку, аналізу сучасного стану [8, 16, 22, 110] та перспектив розвитку магнітотерапевтичної техніки нами запропоновано удосконалену класифікацію МТА [114]. На рис. 1.56 представлено розширену класифікацію МТА на основі врахування частоти, локалізації терапевтичного впливу, комбінованого впливу МП, наявності ЗЗ та варіантів його реалізації, універсальності лікування хвороб, стаціонарності, типу керування МТА, виду та режиму живлення індуктора, виду та інтенсивності МП [114]. В запропонованій класифікації зберігаються конструктивні показники класифікації, що представлені в роботі [15]: частота, стаціонарність, тип та режим живлення магнітного індуктора. В залежності від локалізації дії МП на біологічний об'єкт в наявності промислові серійні апарати локальної (місцева фізіотерапія МП певної ділянки тіла), розподіленої (фізіотерапія МП суттєвої ділянки тіла або різних органів та ділянок тіла одночасно, наприклад, кінцівок) та загальної (фізіотерапія МП всього організму людини) дії.

З врахуванням сучасних поєднаних та комбінованих методів магнітотерапії існують МТА з дією виключно МП та з поєднаним і комбінованим впливом МП: магнітолазерні, магнітолазероультразвукові, вібромагнітотерапевтичні, термомагнітотерапевтичні, магнітоакустичні, вібротермомагнітотерапевтичні, магнітофотобарометричні, електромагнітотерапевтичні, фотомагнітотерапевтичні, баромагнітотерапевтичні, гідромагнітотерапевтичні. Крім наведених в класифікації МТА поєднаної та комбінованої дії в практичній медицині реалізуються такі поєднані та комбіновані методи магнітотерапії як МФНТ, ПеМТ, КрМТ, МФ та МЕФ. В залежності від універсальності лікування хвороб розрізняють апарати спеціалізовані та універсальні. В класифікацію за типом керування МТА включені апарати з мікроконтрольним, мікропроцесорним та комп'ютерним керуванням, за наявністю ЗЗ - МТА з параметричним, фізіологічним, біорезонансним, хронобіологічним ЗЗ, за видом МП - ПМП, ЗМП, СиМП, ПуМП, ІМП, ОМП, ІБМП.

Додатково у порівнянні з [15] в класифікацію введені ЗмМП, ОмП, ІБМП. СиМП та ПуМП - окремий випадок ЗМП. В запропоновану класифікацію в залежності від значення магнітної індукції (В) входять апарати зі слабкими ($V < 12$ мТл), середніми ($V = 12 - 50$ мТл), підсиленими ($V = 50 - 500$ мТл), сильними ($V > 500$ мТл) МП. Сильні МП використовують апарати ВІМТ, що призначені для ТМС та міомагнітостимуляції.

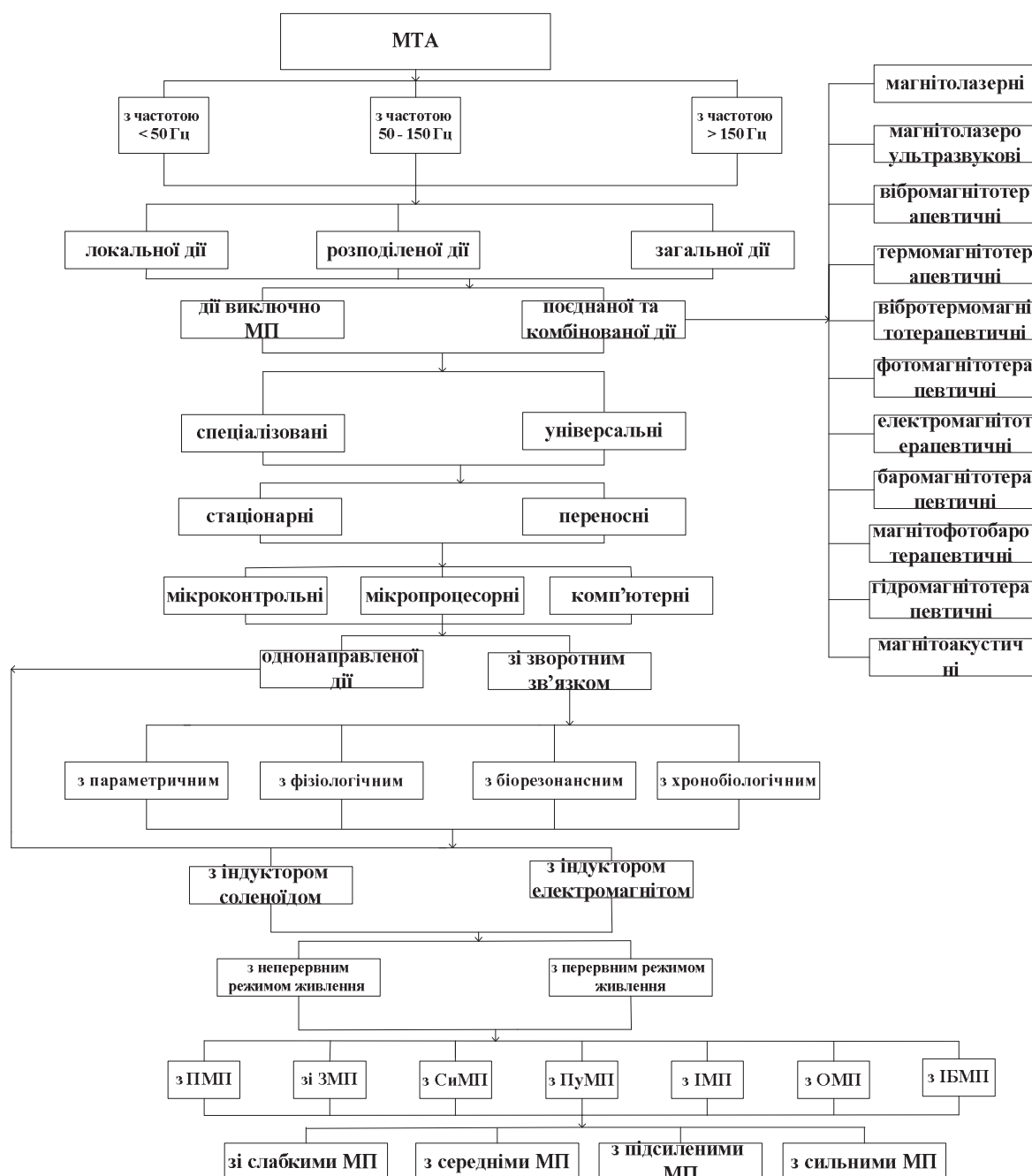


Рис. 1.56. Класифікація сучасних МТА

Таким чином, можна зробити висновок, що магнітотерапія - один з ефективних та перспективних фізіотерапевтичних методів впливу на організм пацієнта з широким числом показань та накопиченим успішним досвідом лікування хвороб, який відомий з давніх часів. Розглянуто біотропні параметри МП та запропоновано їх класифікацію, обґрунтовано біомагніторецепцію, механізми біофізичної, біохімічної та фізіологічної дії МП на організм людини. Досліджено сучасні методи фізіотерапії - методи традиційної, особливої, поєднаної та комбінованої магнітотерапії. Проаналізовано промислово - серійні МТА та види зворотнього зв'язку.

РОЗДІЛ II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНУ ТКАНИНУ

2.1. Дослідження зміни магнітопроникності біологічної тканини при дії магнітного поля

Магнітотерапія заснована на лікувальній дії НМП на БТ. Терапевтичний ефект магнітотерапії обумовлений тим, що НМП без перешкод проникає через БТ, вільно пронизує організм людини. Ще в середині ХХ сторіччя була висунута гіпотеза, яка пропонувала розглядати біомагнітні ефекти дії МП на БТ внаслідок зміни проникності біологічних мембран [115], яка сьогодні частково підтверджена клінічними дослідженнями [43].

Проведемо оцінку глибини проникнення МП в БТ, використовуючи деякі положення роботи [116].

Глибина проникнення магнітного випромінювання d в БТ обернено пропорційна коефіцієнту затухання МП в біосистемі та визначається за її першою гармонікою [117]:

$$d = 1 / \alpha, \quad (2.1)$$

де

$$\alpha = \sqrt{-\frac{\omega^2 \varepsilon_a \mu_a}{2} + \sqrt{\left(\frac{\omega^2 \varepsilon_a \mu_a}{2}\right)^2 + \left(\frac{\omega \sigma \mu_a}{2}\right)^2}} \quad (2.2)$$

ε - коефіцієнт затухання МП, абсолютна магнітна проникність $\mu_a = \mu_0 \mu$,

абсолютна діелектрична проникність $\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon$,

$\mu = 1$ - відносна магнітна проникність,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнітна стала,

$\varepsilon = 1$ - відносна діелектрична проникність,

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - електрична стала,

$\omega = 2\pi f$ - кутова частота,

σ - питома електропровідність БТ ($\sigma = 0,125$ (Ом·м)⁻¹).

Проведемо розрахунки для різних частот.

Для $f = 100$ Гц:

$$\left(\frac{\omega\sigma\mu_a}{2}\right)^2 = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,125 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2}\right)^2 = 2,435227 \cdot 10^{-9} \text{ (1/м}^4\text{)}. \quad (2.3)$$

$$\left(\frac{\omega^2 \varepsilon_a \mu_a}{2}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 100^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2}\right)^2 = 4,819097 \cdot 10^{-24} \text{ (1/м}^4\text{)}; \quad (2.4)$$

Для $f = 1000$ Гц:

$$\left(\frac{\omega\sigma\mu_a}{2}\right)^2 = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 0,125 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2}\right)^2 = 2,435227 \cdot 10^{-7} \text{ (1/м}^4\text{)}; \quad (2.5)$$

$$\left(\frac{\omega^2 \varepsilon_a \mu_a}{2}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 1000^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2}\right)^2 = 4,819097 \cdot 10^{-20} \text{ (1/м}^4\text{)}. \quad (2.6)$$

Розрахунки показують, що співвідношення

$$\left(\frac{\omega\sigma\mu_a}{2}\right)^2 \gg \left(\frac{\omega^2 \varepsilon_a \mu_a}{2}\right)^2, \quad (2.7)$$

тому коефіцієнт затухання МП $\alpha = \sqrt{\frac{\omega\sigma\mu_a}{2}}$, а, відповідно, глибину проникнення МП можна розрахувати з формули

$$d = \sqrt{1 / \mu\mu_0 \sigma \pi f}. \quad (2.8)$$

Для частоти $f = 100$ Гц глибина проникнення магнітного випромінювання $d = 142,35$ м, для частоти $f = 1000$ Гц глибина проникнення магнітного випромінювання $d = 45,01$ м, а для частоти $f = 10000$ Гц глибина проникнення магнітного випромінювання $d = 14,23$ м. З цих розрахунків простежується частотозалежний характер глибини проникнення магнітного випромінювання d .

Для частотного ряду (100 - 10000) Гц глибина проникнення значно перевищує розміри людини. Звідси виходить, що МП наскрізь просвічує БТ на частотах $f = 100 - 10000$ Гц.

Знаючи глибину проникнення МП в БТ розрахуємо та оцінимо характер послаблення інтенсивності МП на відстані r від поверхні тіла.

Врахуємо, що магнітна індукція на поверхні тіла дорівнює її амплітуді $B(0) = B_0$.

На глибині r значення магнітної індукції змінюється за експоненціальним законом

$$B(r) = B_0 e^{-r/d}. \quad (2.9)$$

Знайдемо ослаблення магнітної індукції на відстані r від поверхні БТ

$$\delta_B = \frac{B(0) - B(r)}{B(0)} = 1 - e^{-r/d}. \quad (2.10)$$

Розкладемо $e^{-r/d}$ в ряд Тейлора

$$e^{-r/d} = 1 - r/d + r^2/d^2 - \dots \quad (2.11)$$

Вираз для послаблення δ_B магнітної індукції (2.10) з врахуванням членів не вище першого порядку малості набуває вигляду

$$\delta_B = 1 - 1 + r/d = r/d. \quad (2.12)$$

При виборі значення r враховуємо, що дія штучного МП розповсюджується на відстань, що не перевищує 20 см [15].

На рис. 2.1 представлено відносну зміну магнітної індукції в БТ при дії МП для відстаней $r=15$ см, $r=20$ см.

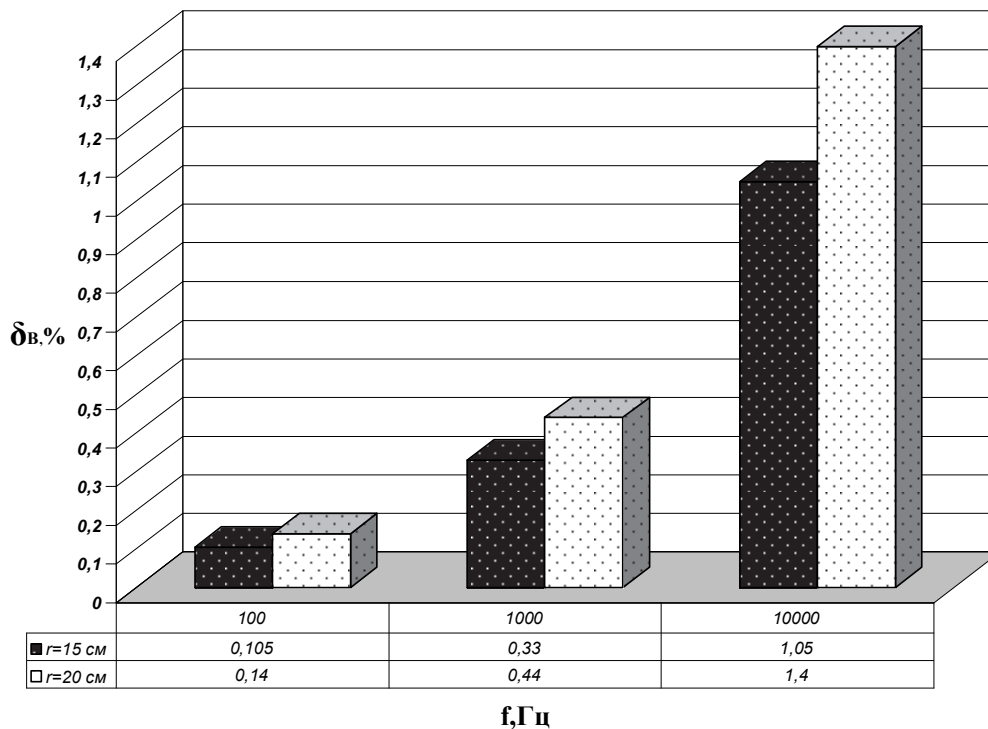


Рис. 2.1. Ослаблення магнітної індукції на глибині r в БТ

2.2. Магнітогідродинамічний ефект в механізмі дії магнітного поля на біологічну тканину

Розглянемо МГД ефект в механізмі дії МП на БТ. Фізична модель живого біологічного об'єкту представляється у вигляді неоднорідної електrolітичної системи, в якій протікають складні біохімічні реакції в рідких розчинах за участю специфічних видів молекул. Разом з цим в біологічному об'єкті безперервно відбувається циркуляція крові або інших рідин [12]. Оскільки кров, як рідина, має властивості електропровідності, рух крові в судинах під дією МП можна описати засобами магнітної гідродинаміки [76].

Найбільшою біологічною активністю володіють МП з просторово-часовою неоднорідністю. Просторова неоднорідність МП викликає появу МГД сил, прикладених до різноманітних іонів та часток, що мають магнітний момент. Часова неоднорідність МП викликає появу МГД сил під час переднього та заднього фронтів імпульсу. Найбільша швидкість зміни МП з часом спостерігається у ІМП під час переднього та заднього фронтів імпульсу.

Під дією сумарної напруженості МП \vec{H}_Σ і сумарної напруженості електричного поля \vec{E}_Σ в об'ємі БТ діють сили МГД і електрогідродинамічної природи. Сумарна сила \vec{F}_Σ при цьому складає [118]

$$\vec{F}_\Sigma = \mu_0[\vec{j}_\Sigma \times \vec{H}_\Sigma] + \rho_{03} \vec{E}_\Sigma + \chi \vec{H}_\Sigma \text{ grad } \vec{H}_\Sigma, \quad (2.13)$$

де ρ_{03} - густина ендогенних об'ємних зарядів;

\vec{j}_Σ - загальна густина струмів в одиниці об'єму БТ; $\text{grad } \vec{H}_\Sigma$ - градієнт напруженості МП, характеризує степінь неоднорідності МП.

Наявність $\vec{E}_\Sigma \neq 0$ обумовлює генерацію в об'ємі БТ струмів екзогенної природи. Густина струмів екзогенної природи обчислимо з формули

$$\vec{j}_{\text{екз}} = \sigma \vec{E}_\Sigma \quad (2.14)$$

При цьому сумарна густина струмів

$$\vec{j}_{\Sigma} = \vec{j}_{\text{екз}} + \vec{j}_{\text{енд}} = \sigma \vec{E}_{\Sigma} + \vec{j}_{\text{енд}} \quad (2.15)$$

де $\vec{j}_{\text{енд}}$ - густина струмів ендогенної природи.

МП в БТ визначається власним МП БТ та зовнішнім МП, яке діє на тканину.

При цьому магнітна індукція поля БТ

$$\vec{B}_{\Sigma} = \vec{B}_{\Sigma}' + \vec{B}_{\Sigma}'' = \mu_0 \vec{H}_{\Sigma} + \mu_0 \chi \vec{H}_{\Sigma} = \mu \mu_0 \vec{H}_{\Sigma} = \mu_0 \vec{H}_{\Sigma} (1 + \chi), \quad (2.16)$$

де \vec{B}_{Σ}' - магнітна індукція зовнішнього МП;

\vec{B}_{Σ}'' - магнітна індукція поля БТ.

Звідси

$$\vec{H}_{\Sigma} = \vec{B}_{\Sigma} / \mu \mu_0 = \vec{B}_{\Sigma} / ((1 + \chi) \mu_0). \quad (2.17)$$

Розглянемо дію сил МГД природи [119-121]. Для цього в формулі (2.13) не враховуємо дію електрогідродинамічних сил $\rho_{\text{оз}} \vec{E}_{\Sigma}$ ($\vec{j}_{\Sigma} = \vec{j}_{\text{екз}}$).

Підставивши (2.17) в (2.13), отримаємо вираз для МГД сили $\vec{F}_{\text{МГД}}$

$$\begin{aligned} \vec{F}_{\text{МГД}} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \mu_0 [\vec{j}_{\Sigma} \times \vec{H}_{\Sigma}] + \chi \vec{H}_{\Sigma} \text{grad} \vec{H}_{\Sigma} = \\ &= (1 / \mu) [\vec{j}_{\Sigma} \times \vec{B}_{\Sigma}] + (\chi / (\mu \mu_0)^2) \vec{B}_{\Sigma} \text{grad} \vec{B}_{\Sigma}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Сила $\vec{F}_1 = \mu_0 [\vec{j}_{\Sigma} \times \vec{H}_{\Sigma}]$ виникає під дією електричних струмів в одиниці об'єму БТ.

Сила $\vec{F}_2 = \chi \vec{H}_{\Sigma} \text{grad} \vec{H}_{\Sigma}$ відповідає виштовхуванню БТ з місць, де МП найінтенсивніше, у напрямі градієнта поля $\text{grad} \vec{H}_{\Sigma}$.

Дослідимо фронт імпульсу МП квазіпрямокутної та квазітрикутної форми (обмежимося розглядом одинарного імпульсу МП) [119].

Для котушки індуктивності стала часу дорівнює

$$\tau_B = L / R_a , \quad (2.19)$$

де L - індуктивність котушки;

R_a - активний опір БТ.

На рис. 2.2 (а) приведена форма одинарного імпульсу МП квазіпрямокутної форми $B = f(t)$, де τ_1 - довжина переднього фронту імпульсу, τ_2 - довжина середньої частини імпульсу з амплітудою МП B_0 , τ_3 - довжина заднього фронту імпульсу. На рис. 2.2 (б) - квазітрикутної форми $B = f(t)$, де τ_B - стала часу.

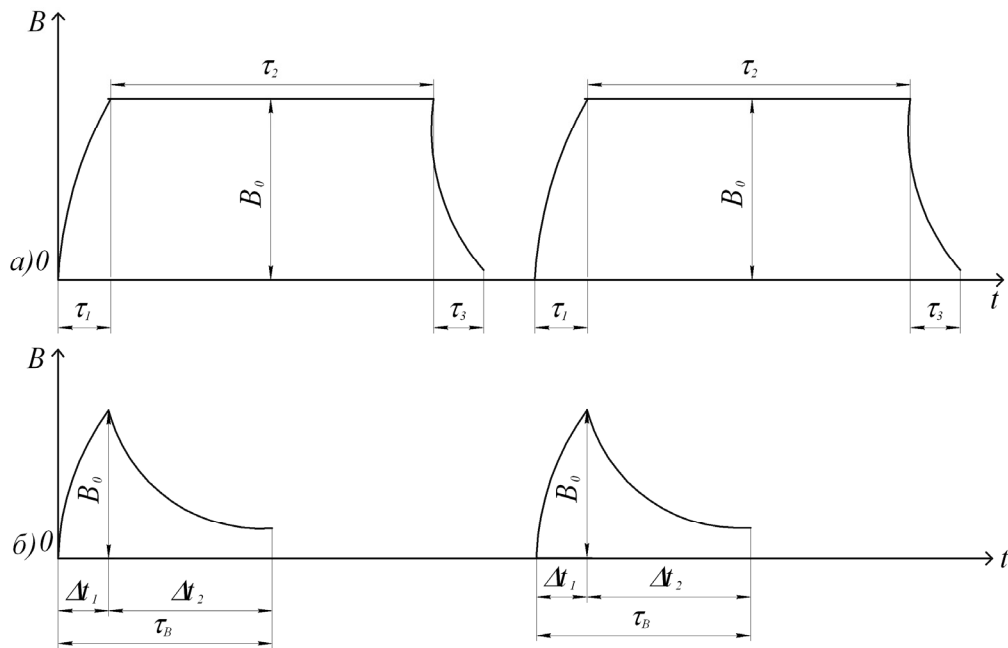


Рис. 2.2. Квазіпрямокутний та квазітрикутний імпульси магнітної індукції

МП квазітрикутної форми на проміжку часу Δt_1 змінюється за експоненціальною залежністю

$$B(t) = B_0(1 - e^{-\Delta t_1/\tau_B}), \quad (2.20)$$

де B_0 - амплітуда магнітної індукції.

Стала часу розраховується за формулою

$$\tau_B = \Delta t_1 / (\ln(B_0 / (B_0 - B(t)))) . \quad (2.21)$$

МП квазітрикутної форми на проміжку часу Δt_2 змінюється за експоненціальною залежністю

$$B(t) = B_0 e^{-\Delta t_2 / \tau_B} . \quad (2.22)$$

Стала часу розраховується за формулою

$$\tau_B = \Delta t_2 / (\ln(B_0 / B(t))) . \quad (2.23)$$

Для імпульсу МП квазітрикутної форми при $0 \leq t \leq \Delta t_1$

$$B(t) \Big|_0^{\Delta t_1} = B_0 (1 - e^{-\Delta t_1 / \tau_B}) . \quad (2.24)$$

При $t = \Delta t_1$

$$B(t) = B_0 . \quad (2.25)$$

При $\Delta t_1 \leq t \leq \Delta t_1 + \Delta t_2$

$$B(t) = B_0 e^{-\Delta t_2 / \tau_B} . \quad (2.26)$$

Отже, одинарний імпульс МП квазітрикутної форми запишеться у вигляді

$$B(t) = B(t) \Big|_0^{\Delta t_1} + B(t) \Big|_{\Delta t_1}^{\Delta t_1 + \Delta t_2} = B_0 (1 - e^{-\Delta t_1 / \tau_B}) + B_0 e^{-\Delta t_2 / \tau_B} . \quad (2.27)$$

Розглянемо рис. 2.2 (а). Для опису переднього фронту квазіпрямокутного імпульсу приймемо умову для індукції МП

$$B(t) \Big|_0^{\tau_1} = B_0 (1 - e^{-\tau_1 / \tau_B}) , \quad (2.28)$$

де $B(t)$ - імпульс МП квазіпрямокутної форми.

При $t = \tau_1$

$$B(t) = B_0 . \quad (2.29)$$

При $\tau_1 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2$ вважаємо

$$B(t) \Big|_{\tau_1}^{\tau_1 + \tau_2} = B_0 . \quad (2.30)$$

При $\tau_1 + \tau_2 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ $B(t)$ можна представити у вигляді

$$B(t) \Big|_{\tau_1 + \tau_2}^{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} = B_0 e^{-\tau_3 / \tau_B} . \quad (2.31)$$

Отже, одинарний імпульс МП квазіпрямокутної форми запишеться у вигляді

$$B(t) = B(t)|_0^{\tau_1} + B(t)|_{\tau_1}^{\tau_1+\tau_2} + B(t)|_{\tau_1+\tau_2}^{\tau_1+\tau_2+\tau_3}, \quad (2.32)$$

$$B_0(1 - e^{-\tau_1/\tau_B}) + B_0 + B_0 e^{-\tau_3/\tau_B}.$$

Отримані формули (2.27) та (2.32) описують квазітрикутний та квазіпрямокутний імпульси магнітної індукції.

В момент $\tau_1 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2$ дія МП у водному середовищі визначається МГД силою (2.18)

$$\vec{F}_{\text{МГД}} = (1/\mu)[\vec{j}_{\text{H}\neq 0} \times \vec{B}_{\Sigma}] + (\chi/(\mu\mu_0)^2)\vec{B}_{\Sigma} \text{grad } \vec{B}_{\Sigma}, \quad (2.33)$$

де $\vec{j}_{\text{H}\neq 0}$ - густина струму, що обумовлений нерівновісними процесами в середовищі. Під дією цієї сили у водному середовищі виникають гідродинамічні явища, але специфіка дії ІМП тут не проявляється.

Найбільш значні ефекти дії ІМП проявляються під час переднього ($0 \leq t \leq \tau_1$) і заднього ($\tau_1 + \tau_2 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$) фронтів імпульсу [121, 122]. Під дією МП в БТ в цьому інтервалі в об'ємі електроліту з електропровідністю σ виникають індуковані електричні струми густиною [122]

$$j_{\tau_1} \approx (\sigma H_{\Sigma} / \tau_1)\varphi(x, y, z) \approx (\sigma B_{\Sigma} / \tau_1) / ((1 + \chi)\mu_0)\varphi(x, y, z), \quad (2.34)$$

$$j_{\tau_3} \approx (-\sigma H_{\Sigma} / \tau_3)\varphi(x, y, z) \approx (-\sigma B_{\Sigma} / \tau_3) / ((1 + \chi)\mu_0)\varphi(x, y, z), \quad (2.35)$$

де $\varphi(x, y, z)$ - просторовий коефіцієнт.

Тоді в об'ємі водного середовища при $0 \leq t \leq \tau_1$ виникають МГД сили.

З врахуванням (2.31), (2.33), (2.35), (2.51) формула для величини МГД сил запишеться у вигляді [119, 120]

$$\vec{F}_{\tau_1}(t) = (1/\mu)[\vec{j}_{\text{H}\neq 0} \times \vec{B}(t)] + \rho_{\text{оз}} \vec{B}_{\Sigma} / (\tau_1(1 + \chi)\mu_0)\varphi(x, y, z) + (\chi/(\mu\mu_0)^2)\vec{B}(t) \text{grad } \vec{B}(t), \quad (2.36)$$

де $\text{grad } \vec{B}(t)$ - градієнт МП квазіпрямокутної форми,

$B(t)$ - закон зміни магнітної індукції під час переднього фронту імпульсу, що визначається формулою (2.28).

Під час переднього ($0 \leq t \leq \tau_1$) і заднього ($\tau_1 + \tau_2 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$) фронтів імпульсу МГД сили за середньою величиною рівні і протилежні за знаком, тобто в об'ємі середовища виникають знакозмінні тиски з інтервалами τ_2 .

Таким чином, розглянутий первинний механізм взаємодії МП з БТ, що полягає в тому, що ЗМП, а також електричні поля штучного походження взаємодіють з електричними струмами і макроскопічними об'ємними зарядами, пов'язаними з метаболічними процесами, що протікають в біологічному об'єкті. Неможливо використовувати джерело МП при лікуванні людини, не маючи уявлення про те, як його дія буде впливати на життєдіяльність організму.

2.3. Математична модель впливу магнітного поля на зміну температури біологічної тканини

При використанні магнітотерапевтичних методів лікування необхідний контроль за реакцією організму на вплив МП. Узагальненими критеріями ефективності дії на організм МП можна вважати такі терапевтичні показники, як АТ, пульс, сатурацію, температуру. Температура - інтегральний показник ефективності дії МП на БТ [6, 123]:

- на орґано - системному рівні людини важливим є тепловий механізм дії МП;
- протікання патологічного процесу призводить до виникнення відповідної температураної реакції;
- під час сеансу магнітотерапії важливим є отримання інформації про температуру БТ (так у випадку перевищення критично допустимого значення температури порушується процес досягнення терапевтичного ефекту дії МП, що призводить до необхідності припинити процедуру магнітотерапії);

- зміна температури організму людини є пусковим механізмом для різноманітних реакцій, рівень яких залежить від терморегуляторних та метаболічних характеристик тканини.

Вплив МП на температурні параметри БТ представлено в [124].

Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора та дослідження провідності біологічних матеріалів при прямому методі підігріву термістора розглянуто в [125, 126].

Задачею дослідження є математичне моделювання впливу МП на зміну температури поверхневих шарів епідермісу БТ і проведення, при цьому, експериментальних досліджень зміни температури БТ під час магнітотерапевтичної процедури та порівняння отриманих результатів.

Більшість робіт по магнітотерапії [7, 13, 22, 77, 127, 128] присвячені не стільки розкриттю теплового механізму дії МП на БТ, скільки опису отриманого ефекту. Тому на сучасному етапі розвитку біофізики виникає необхідність розробки математичної моделі та проведення математичного моделювання впливу МП на зміну температури БТ, що дозволяє дослідити тепловий механізм дії МП. При побудові даної математичної моделі необхідно враховувати фізичні властивості БТ (імпеданс, теплоємність, електропровідність) і біотропні параметри МП (магнітну індукцію, частоту, експозицію, локалізацію МП).

В деяких публікаціях розглядались окремі питання напрямів математичного моделювання впливу МП на зміну температури поверхневих шарів БТ (епідермісу) [129-132].

Механізм лікувальної дії низькочастотної магнітотерапії обумовлений не тільки кількістю виділеної теплоти (воно мале внаслідок низької частоти поля), а її подразнювальною, стимулюючою дією. Розглянемо, як показник, питомий тепловий ефект q дії МП на БТ, що визначається впливом на іони та на нейтральні частки.

Одним із факторів механізму дії МП на організм людини є виділення в БТ джоулевого тепла Q . В нашому випадку досліджуються поверхневі шари епітелію шкіри. Інерційністю теплових процесів в них знехтуємо. Тому з допустимою похибкою (до 7%) можна провести оцінювальний розрахунок за законом Джоуля - Ленца з поправкою на інерційність, яка враховується параметром часу t .

Для розрахунку питомого теплового ефекту, що створюється вихровими струмами в БТ, скористаємося формулою Джоуля-Ленца [77]:

$$Q = I \cdot U \cdot t, \quad (2.37)$$

де U - напруга електричного поля індукованого в БТ;

t - одиниця часу.

Значення параметрів теплоти $Q(t)$, вихрових струмів $I(t)$ та напруги $U(t)$ змінюються з часом t . Тому значення кількості теплоти впродовж часу t дії вихрових струмів $I(t)$ має вигляд

$$Q(t) = I(t) \cdot U(t) \cdot t, \quad (2.38)$$

де $I(t)$ - значення вихрових струмів в даний час;

$U(t)$ - напруга електричного поля індукованого в БТ за час t .

Кількість теплоти, що виділяється в одиниці об'єму V за одиницю часу t оцінюють за питомим тепловим ефектом (теплопродукцією) q [77]:

$$q = \frac{Q(t)}{V \cdot t}. \quad (2.39)$$

Враховуючи, що об'єм $V = S \cdot l$, значення струму $I = j \cdot S$, напруги $U = El$, напруженість електричного поля $E = j \cdot \rho$, де S - площа контуру вихрового струму довжиною l (рис. 2.3), j - щільність струму, ρ - питомий електричний опір, отримаємо формулу для визначення кількості теплоти, що виділяється в БТ

$$q = j^2 \cdot \rho. \quad (2.40)$$

Формула (2.40) показує, що при даній щільності струму j більша кількість тепла буде виділятися в тканинах з великим питомим електричним опором ρ .

На рис. 2.3 зображено схему теплової дії МП на БТ (верхня кінцівка 1) при місцевій (локальній) магнітотерапії. Формувач струмів апарату магнітотерапії формує струм I , який створює ЗМП (силові лінії 3) в магнітному індукторі 2. Під дією МП в БТ індукуються вихрові струми Фуко, S – площа контуру струмів Фуко.

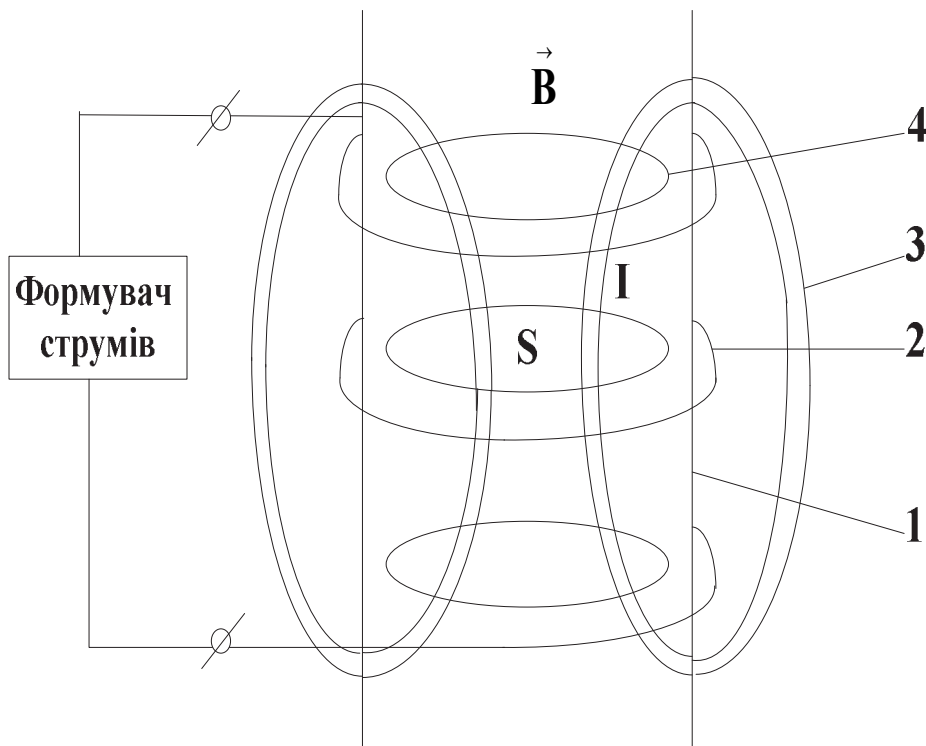


Рис. 2.3. Схема теплової дії МП на БТ

Для вихрових струмів можна записати [127]:

$$I = -\frac{S}{R} \cdot \frac{dB}{dt}, \quad (2.41)$$

де $\frac{dB}{dt}$ - швидкість зміни значень індукції МП,

R - опір БТ.

Виражаємо значення опору R через формулу питомого електричного опору:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S_1}, \quad (2.42)$$

де S_1 - площа перерізу БТ, через яку проходить вихровий струм (площа S_1 знаходиться у площині рис. 2.3).

Враховуючи (2.42) з (2.41) отримаємо формулу для оцінки вихрових струмів

$$I = -\frac{S \cdot S_1}{\rho \cdot l} \cdot \frac{dB}{dt}. \quad (2.43)$$

Припустимо, що магнітна індукція поля змінюється за гармонічним законом

$$B = B_0 \cdot \cos(\omega t), \quad (2.44)$$

де B_0 - амплітуда індукції МП;

ω - кутова частота.

Тоді

$$\frac{dB}{dt} = -B_0 \cdot \omega \cdot \sin(\omega t). \quad (2.45)$$

Підставимо (2.45), (2.43) в (2.40) та отримаємо вихідну формулу для розрахунку значень питомого теплового ефекту дії МП на БТ [129]:

$$q = \frac{S_1^2}{l^2} \cdot \frac{B_0^2 \cdot \omega^2 \cdot \sin^2(\omega t)}{\rho}, \quad (2.46)$$

де q - кількість теплоти, що виділяється за одиницю часу в одиниці об'єму БТ.

Таким чином, як слідує з формули (2.46), значення кількості теплоти, що виділяється в тканинах, пропорційно квадрату частоти і магнітної індукції ЗМП та обернено пропорційно питомому опору. Тому під дією магнітного випромінювання більше будуть прогріватися тканини, які містять велику кількість води (кров, м'язи, шкіра і тканини таких органів як печінка, серце), ніж тканини, які містять малу кількість води (жирова і кісткова тканини, жовтий кістковий мозок).

Так приріст температури T тіла внаслідок передачі йому теплоти q дорівнює [128]

$$dT = \frac{1}{C_q} dq, \quad (2.47)$$

де C_q - теплоємність одиниці об'єму БТ. Взявши похідну за часом від цієї рівності, отримуємо в якості критерію біологічної значущості нагріву тканини зростання температури зі швидкістю

$$T'_t = \frac{1}{C_q} \cdot \frac{dq}{dt}. \quad (2.48)$$

З (2.46) отримаємо вираз

$$\frac{dq}{dt} = \frac{S_1^2}{l^2} \cdot \frac{B_0^2 \cdot \omega^3 \cdot \sin(2\omega t)}{\rho}. \quad (2.49)$$

Розрахунок швидкості зміни температури поверхневого шару БТ може бути здійснений за формулою

$$T'_t = k \frac{B_0^2 \cdot \omega^3}{C_q \cdot \rho}, \quad (2.50)$$

де $k = \frac{S_1^2}{l^2} \cdot \sin(2\omega t)$ - коефіцієнт пропорційності, який є функцією форми та залежить від геометричних розмірів ділянки БТ.

З врахуванням кутової частоти $\omega = 2\pi f$ отримуємо розрахункову формулу швидкості зміни температури [129, 130]

$$T'_t = k \frac{8\pi^3 \cdot B_0^2 \cdot f^3 \cdot \sigma}{C_q}. \quad (2.51)$$

Формулу (2.51) для визначення швидкості зростання температури БТ під дією МП назвемо прогнозованою оцінювальною формулою.

Приймаємо наступні значення параметрів БТ та розмірів зразка [14, 133]: провідність середовища $\sigma = \frac{1}{\rho} = 0,125 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$, теплоємність одиниці об'єму БТ $C_q = 3444 \text{ (Дж / (кг }^\circ\text{C))}$, радіус зони впливу $r = 0,5\text{см}$.

Необхідно додатково провести дослідження залежності T_i' від B та f для визначення коефіцієнта k .

Графіки залежності T_i' від магнітної індукції B та частоти f приведено, відповідно, на рис. 2.4 та рис. 2.5.

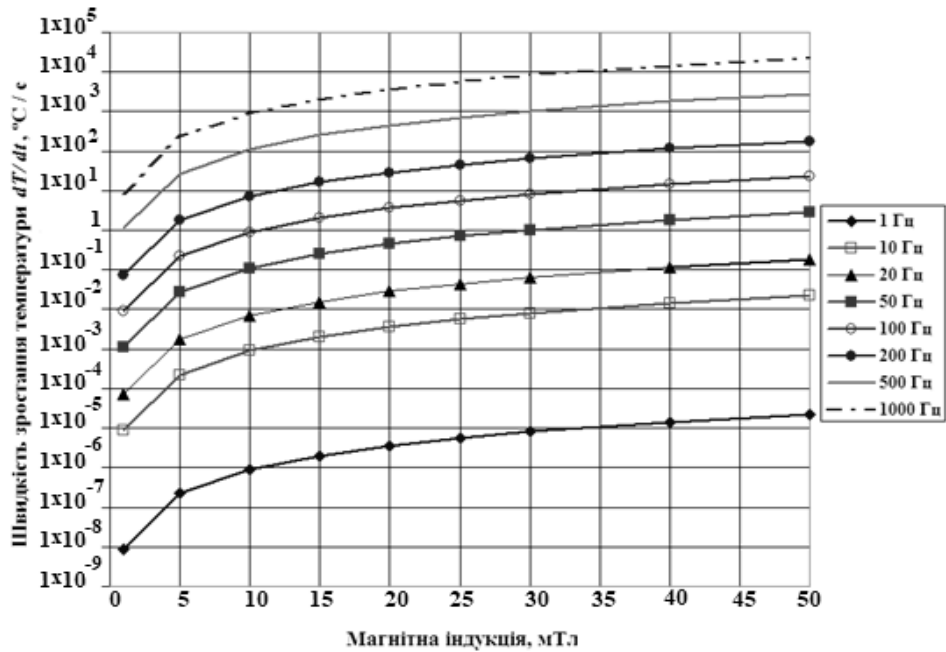


Рис. 2.4. Залежність швидкості зміни температури від магнітної індукції

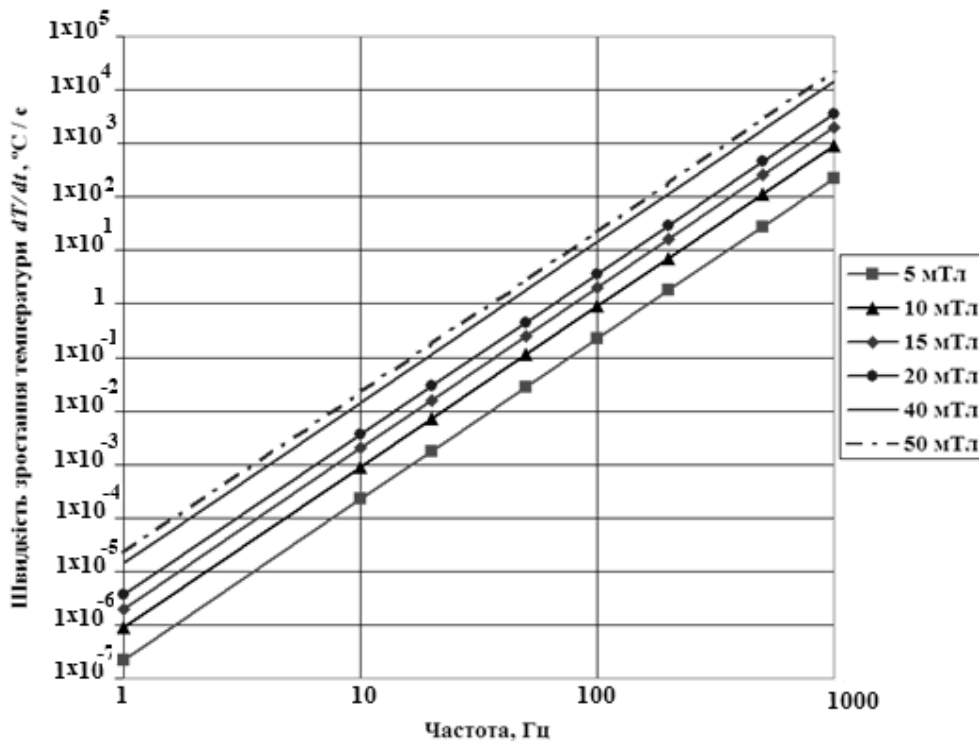


Рис. 2.5. Залежність швидкості зміни температури від частоти

Побудуємо узагальнену математичну модель дії МП на зміну температури БТ, що враховує питому поглинаючу потужність [131]. Дія МП на БТ характеризується питомою поглинаючою потужністю, яка є важливою енергетичною характеристикою випромінювання, так як вона безпосередньо застосовується для розрахунку нагрівання шкіри.

В роботі П. Новака [65] запропоновано математичну залежність для опису зміни температури БТ при впливі електромагнітного випромінювання:

$$\Delta T = \frac{P}{k_1 C_q} (1 - e^{-k_1 t}), \quad (2.52)$$

де k_1 - коефіцієнт охолодження (1/с),

P - питома поглинаюча потужність (Вт / кг).

Нагрів БТ за рахунок поглинання енергії випромінювання є одним з основних механізмів біологічних ефектів магнітних випромінювань. Величина питомої поглинаючої потужності при термографії, коли пряме вимірювання амплітуди ЗМП в експерименті ускладнене, визначається, виходячи з допущення про квазілінійний характер зростання температури в поверхневому шарі епідермісу, за початковою швидкістю зростання температури ($T'_t \big|_{t=0}$), за формулою [134]:

$$P = C_q \cdot T'_t \big|_{t=0}. \quad (2.53)$$

З (2.53) з врахуванням (2.51) отримана формула [135] для розрахунку питомої поглинаючої потужності в поверхневих шарах епідерміса:

$$P = k 8\pi^3 \cdot B_0^2 \cdot f^3 \cdot \sigma. \quad (2.54)$$

Підставивши (2.54) в (2.52) отримаємо узагальнену формулу [131] для розрахунку зміни температури БТ:

$$\Delta T = k \cdot \frac{8\pi^3 \cdot B_0^2 \cdot f^3 \cdot \sigma}{k_1 C_q} (1 - e^{-k_1 t}). \quad (2.55)$$

2.4. Експериментальні дослідження динаміки зміни температури біологічної тканини при дії магнітного поля

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень впливу параметрів МП на БТ емпірично в [132, 136] була отримана математична залежність для розрахунку температури $T(^{\circ}C)$ БТ в зоні дії МП. Результати досліджень свідчать, що температура БТ в зоні дії МП прямо пропорційна магнітній індукції $B(t)$ і часу дії t та обернено пропорційна імпедансу БТ Z_{BT} , теплоємності одиниці об'єму C_q , провідності середовища σ , площі зони локальної дії S . Експериментально встановлена емпірична залежність температури поверхневих шарів БТ від параметрів об'єкта та діючих факторів має вигляд:

$$T(^{\circ}C) = \frac{K_B \cdot K_{BT} \cdot K_f \cdot B(t) \cdot t}{Z_{BT} \cdot C_q \cdot \sigma \cdot S}, \quad (2.56)$$

де $K_{BT} = 26,146$ - коефіцієнт для багатошарових БТ (залежить від типу БТ);

$K_B = B$ (мТл/мА) - коефіцієнт перетворення значення струму системи живлення джерела магнітної індукції;

$K_f = 1$ - коефіцієнт залежності від частоти МП для конкретного типу БТ { $f = 1000$ Гц - найбільша обґрунтована частота для магнітотерапії за даними Демецького [5,61,78]};

Z_{BT} - імпеданс тканин БТ (шкіри);

S - площа зони локальної дії МП.

Залежність амплітуди індукції МП $B(t)$ від частоти визначає межу теплових ефектів на площині амплітуда - частота і характеризується коефіцієнтом K_f .

Імпеданс (повний опір БТ) за рахунок поляризаційних властивостей БТ характеризує ряд функціональних змін в організмі (стан шкіри та підшкірної тканини, кровоносних судин, ступеня насиченості циркулюючої крові киснем - сатурації та інш.). Імпеданс БТ залежить від виду БТ, місця

розташування електродів на тілі людини під час дослідження, тиску на електроди, площини електродів, якості обробки піделектродних ділянок шкіри, виду електродної пасти та рідини, температури оточуючого середовища, форми, частоти та сили струму та від часу з моменту накладання електродів [137]. В якості БТ обираємо шкіру. Імпеданс шкіри $Z_{BT} = 65000 \text{ Ом}$ [137].

Формула (2.56) дозволяє провести оцінку дії МП за значеннями температури T та теплоємності одиниці об'єму C_q БТ.

На рис. 2.6 (а) та рис. 2.6 (б) представлені результати теоретичного дослідження теплового поля за емпіричною формулою (2.56).

Як бачимо з рис. 2.6, температура поверхневого шару БТ при процедурі магнітотерапії змінюється за законом, близьким до експоненціального, та збільшується різниця температури ΔT від $0,09^\circ\text{C}$ при $B=5 \text{ мТл}$ до $1,43^\circ\text{C}$ при $B=20 \text{ мТл}$ (впродовж 300 с) [138].

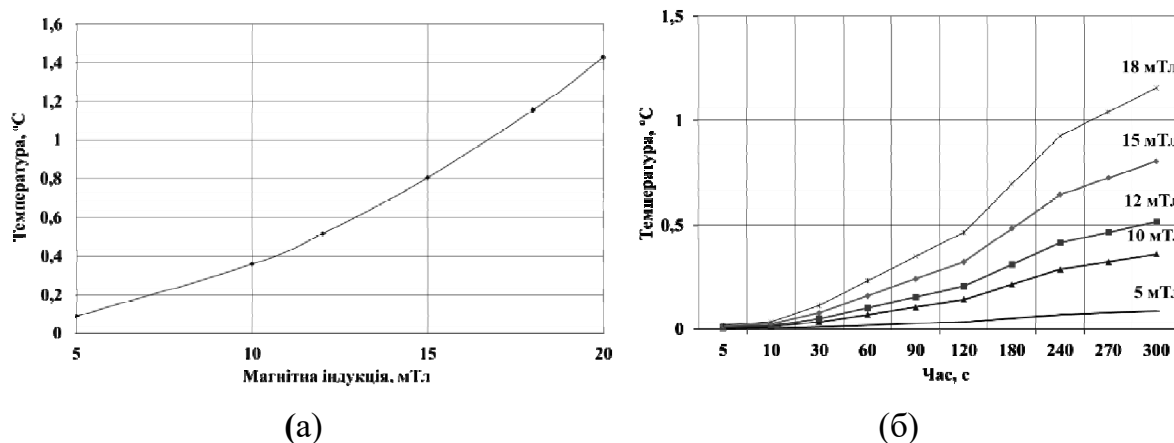


Рис. 2.6. Залежність зміни температури БТ від магнітної індукції (а) та від часу (б) при різних режимах роботи МТА

2.5. Порівняльна оцінка результатів математичного моделювання

Проведемо порівняльний аналіз результатів моделювання кількості теплоти, що виділяється в одиниці об'єму БТ, за допомогою формули (2.38) з формулою, що приведена А. С. Пресманом в роботі [4].

В формулі (2.38) для розрахунку кількості теплоти, що виділяється під дією МП в одиниці об'єму БТ, введемо коефіцієнт $k_2 = \frac{S_1^2}{2l^2}$ (середнє значення $\overline{\sin^2(\omega t)} = \frac{1}{2}$), що залежить від геометричних розмірів ділянки БТ.

Отримаємо залежність значень питомого теплового ефекту - теплопродукції [139]

$$q = k_2 \cdot B_0^2 \cdot 4\pi f^2 \sigma. \quad (2.57)$$

В роботі А. С. Пресмана [4] емпірично отримана схожа формула для розрахунку кількості теплоти в одиниці об'єму БТ:

$$q = 2 \cdot 10^{-16} \rho f^2 \frac{B_0^2}{\mu_0^2}, \quad (2.58)$$

де q - кількість теплоти, кал / хв;

ρ - питомий електричний опір, Ом·см;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн / м - магнітна стала.

Необхідно додатково провести порівняння та дослідження залежності кількості теплоти q від значень магнітної індукції B за формулами (2.57) (без врахування коефіцієнта k_2) та (2.58) для визначення коефіцієнта k_2 . Графіки залежності кількості теплоти q від магнітної індукції B приведено, відповідно, на рис. 2.7 та рис. 2.8.

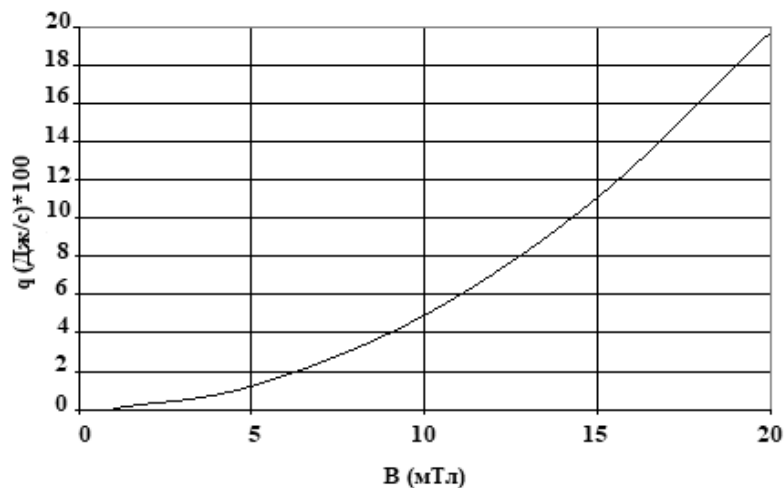


Рис. 2.7. Залежність кількості теплоти від магнітної індукції за формулою (2.57)

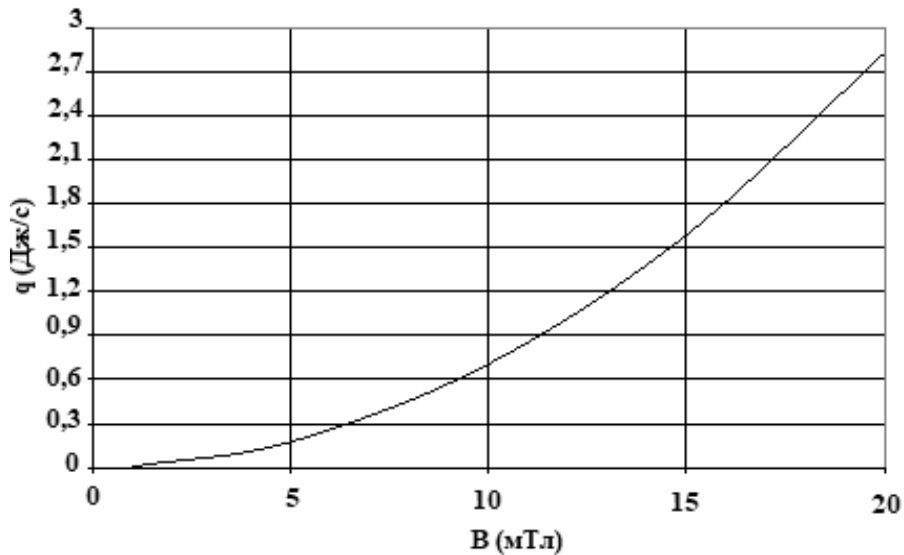


Рис 2.8. Залежність кількості теплоти від магнітної індукції за формулою (2.58)

Для максимальної збіжності результатів розрахунку кількості теплоти за формулами (2.57) та (2.58) приймемо оптимальні значення радіуса ділянки БТ, на яку діє МП: $k_2 = 1,434669 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ при частоті $f = 1000 \text{ Гц}$ [139]. Розрахунок проведений для значень магнітної індукції $B=1,5,10,15,20 \text{ мТл}$ та питомої електропровідності $\sigma = 0,125 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$.

При використанні формули (2.51) для моделювання температури БТ необхідно обрати коефіцієнт $k = f(r^2)$, що є функцією форми. Для цього порівняємо графіки на рис. 2.3-2.5 та вибором коефіцієнтів k , k_1 забезпечимо збіжність результатів математичного моделювання зміни температури БТ при дії МП за формулами (2.51), (2.55) та (2.56).

В табл. 2.1 представлені результати розрахунку зміни температури ΔT (ΔT_5 , ΔT_{10} , ΔT_{15} , ΔT_{18} , ΔT_{20}) за емпіричною формулою (2.56) при різних значеннях магнітної індукції ($B=5,10,15,18,20 \text{ мТл}$).

Збіжність результатів розрахунку для прогнозованої (2.51), узагальненої (2.55) та емпіричної (2.56) формул відбувається для значень $k = \frac{r^2}{20}$ ($B=5,10,12,15,18,20 \text{ мТл}$), коефіцієнт охолодження $k_1 = 0,0001 \text{ (1/с)}$.

Таблиця 2.1

**Теоретичне дослідження теплового поля за емпіричною
формулою (2.56)**

t, c	$\Delta T, ^\circ\text{C}$					
	ΔT_5	ΔT_{10}	ΔT_{12}	ΔT_{15}	ΔT_{18}	ΔT_{20}
5	0,001487	0,005951	0,00857	0,01339	0,019282	0,023805
10	0,002975	0,011902	0,01714	0,026781	0,038565	0,047611
30	0,008927	0,035707	0,05142	0,080343	0,115695	0,142833
60	0,017854	0,071415	0,10284	0,160687	0,23139	0,285667
90	0,026781	0,107125	0,154258	0,241031	0,347085	0,4285
120	0,035708	0,142832	0,20568	0,321375	0,46278	0,571334
180	0,053562	0,21425	0,30852	0,482063	0,694171	0,857
240	0,071416	0,285665	0,411355	0,642751	0,92556	1,142668
270	0,080343	0,321375	0,46278	0,723094	1,041256	1,285502
300	0,08927	0,357083	0,5142	0,803438	1,156952	1,428335

Теоретичне дослідження зміни температури БТ за прогнозованою (2.51) та узагальненою формулою (2.55) при даних значеннях коефіцієнтів k, k_1 представлено в табл. 2.2, 2.3.

Таблиця 2.2

**Теоретичне дослідження теплового поля за прогнозованою
формулою (2.51)**

t, c	$\Delta T, ^\circ\text{C}$					
	ΔT_5	ΔT_{10}	ΔT_{12}	ΔT_{15}	ΔT_{18}	ΔT_{20}
5	0,001406	0,005626	0,008102	0,01266	0,018231	0,022507
10	0,002813	0,011253	0,016205	0,02532	0,036462	0,045014
30	0,00844	0,033761	0,048616	0,075962	0,109386	0,135044
60	0,01688	0,067522	0,097232	0,151925	0,21877	0,270089
90	0,02532	0,101283	0,145848	0,227888	0,328158	0,405134
120	0,033761	0,135044	0,194464	0,30385	0,437545	0,540179
180	0,050641	0,202567	0,291696	0,455776	0,656317	0,810268
240	0,067522	0,270089	0,388928	0,607701	0,87509	1,080358
270	0,075962	0,30385	0,437545	0,683664	0,984476	1,215402
300	0,084402	0,337611	0,486161	0,759626	1,093862	1,350447

**Теоретичне дослідження теплового поля за узагальненою
формулою (2.55)**

t, c	$\Delta T, ^\circ\text{C}$					
	ΔT_5	ΔT_{10}	ΔT_{12}	ΔT_{15}	ΔT_{18}	ΔT_{20}
5	0,001406	0,0056254	0,00811	0,012657	0,0182264	0,022501
10	0,002812	0,011248	0,016197	0,025308	0,036443	0,044992
30	0,008427	0,03371	0,048543	0,075848	0,109222	0,134842
60	0,01683	0,06732	0,096941	0,15147	0,218117	0,26028
90	0,025207	0,100829	0,145193	0,226865	0,326686	0,403316
120	0,033559	0,134237	0,193302	0,302034	0,43493	0,53695
180	0,050188	0,200754	0,289087	0,451698	0,650445	0,803019
240	0,066718	0,266874	0,384298	0,600466	0,864672	1,067496
270	0,074946	0,299785	0,43169	0,674517	0,971304	1,199141
300	0,083149	0,332597	0,478941	0,748345	1,077617	1,330391

Дані табл. 2.1-2.3 свідчать, що відносна похибка теоретичних досліджень зміни температури ΔT БТ за формулами (2.51), (2.55), (2.56) при дії МП не перевищує $\delta=6,8\%$ (для ΔT_{12} за $t=300$ с при порівнянні формул (2.55), (2.56)).

На рис. 2.9 показана залежність питомої поглинаючої потужності від магнітної індукції, що обчислена за формулою (2.53) (швидкості зростання температури БТ розраховані за формулами (2.51) - крива 2 та (2.56) - крива 1).

На рис. 2.10 змодельований час досягнення критично допустимого рівня температури БТ ($T=40^\circ\text{C}$) [13] при різних значеннях магнітної індукції (суцільна лінія - формула (2.51), штрихова - формула (2.56)).

Початкова температура взята з експериментальних досліджень.

Результати моделювання задовольняють часу використання МП в медичній практиці, який складає 15-20 хвилин при лікуванні захворювань верхніх кінцівок [97].

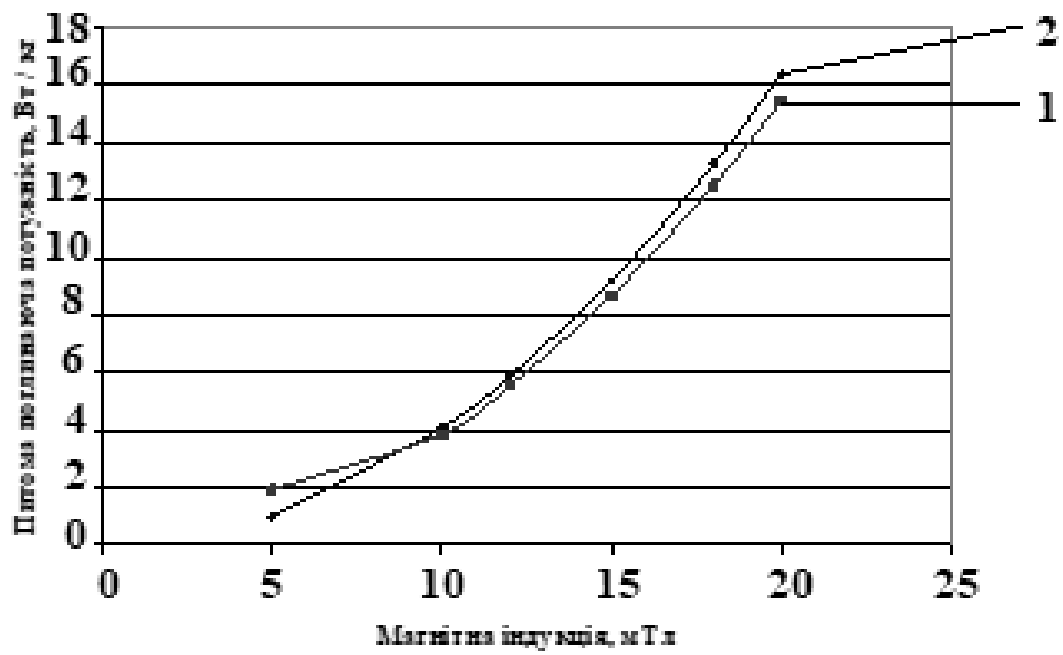


Рис. 2.9. Залежність питомої поглинаючої потужності від магнітної індукції за результатами математичного моделювання

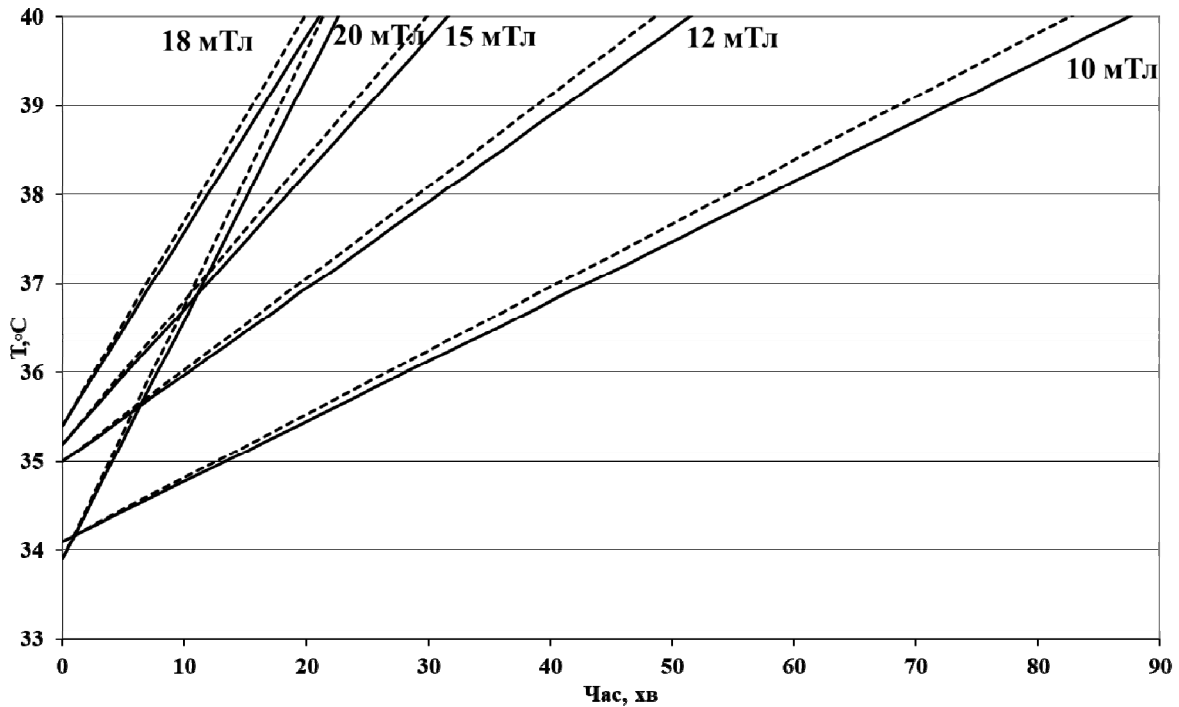


Рис. 2.10. Моделювання часу досягнення критично допустимого рівня температури

Таким чином отримано математичну модель зміни проникності БТ при дії МП. Розглянуто МГД ефект в механізмі дії МП на БТ, що є одною з центральних задач теоретичних досліджень, спрямованих на розробку приладів магнітотерапії, що лікують ІБМП (найбільш відомим МТА з ІБМП є апарат «Алимп»). Запропоновані адекватні математичні залежності впливу ІМП квазіпрямокутної і квазітрикутної форми на БТ. Побудована математична модель впливу МП на зміну температури БТ та проведено математичне моделювання, яке засвідчує, що зміна температури БТ під час сеансу магнітотерапії знаходиться в межах використання МП в медичній практиці [97].

РОЗДІЛ ІІІ. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ ПІД ЧАС СЕАНСУ МАГНІТОТЕРАПІЇ

Для реалізації ЗЗ на етапі проектування апарату магнітотерапії проведено дослідження реакції організму (зміни фізіологічних показників) людини на дію МП. З метою визначення зміни фізіологічних показників (температури, пульсу та сатурації, АТ) організму людини під дією МП проведені експериментальні дослідження впливу МП на БТ в лабораторії біомедичних досліджень кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» [62, 68]. Процедура магнітотерапії проводилась на МТА «ПОЛЮС-4» (рис. 1.25), «МАГ-30-4» (рис. 1.15) та «МІТ-11» (рис. 3.1) за контактною стабільною методикою на область епідермісу та м'якої тканини між великим та вказівним пальцями руки; експериментальна група складалася з 20 осіб (18 чоловіків та 2 жінок віком 20-22 років). Статистична обробка результатів досліджень здійснювалась методом варіаційної статистики з використанням t-критерію Ст'юдента. За мінімальний поріг вірогідності приймали значення $p < 0,05$. Дані досліджень оброблялись за допомогою програми для розрахунку критерію Ст'юдента. У програму вводились значення фізіологічних показників людини до та після впливу МП.



Рис. 3.1. МТА «МІТ-11»

3.1. Експериментальні дослідження зміни пульсу та сатурації артеріальної крові верхніх кінцівок при магнітотерапії

Сатурація - важливий діагностичний та моніторинговий фізіологічний показник, який використовується в анестезіології, реанімації для контролю стану людини та розраховується за формулою [140]

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{THb}, \quad (3.1)$$

де HbO_2 - концентрація оксигемоглобіну;

THb - загальний вміст гемоглобіну у крові.

Найчастіше в якості синхронізуючого фактору при дії МП на БТ використовують пульс пацієнта. Вибір пульсу для синхронізації 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, так як в даному випадку сенсори, які використовуються, стійкі до впливу основних артефактів магнітотерапевтичного сеансу (високий рівень електромагнітних перешкод), як правило сейсмо-, фото- чи акустичного типу, та вони не травмують пацієнта;

- достатньо висока частота утворення синхронізуючих моментів впродовж одного сеансу.

Для визначення сатурації неінвазивним методом використовуються пульсові оксиметри. Пульсоксиметр «ЮТАСОКСИ-200» [рис. 3.2 (а), (б)] призначений для черезшкірного неінвазивного моніторингу ступеня насичення гемоглобіном артеріальної крові киснем та частоти пульсу.

В основі принципу роботи приладу лежить пульсоксиметричний метод неінвазивного визначення оксигенації гемоглобіну артеріальної крові, що об'єднує підходи спектрофотометричного метода і фотоплетизмографії

та базується на вимірюванні та математичному аналізі спектральної і фотоплетизмографічної інформації. За допомогою пульсоксиметричного сенсора, який встановлюється на частину тіла (палець), де передбачається хороша пульсова хвиля, таким чином, щоб джерело світла опинилося навпроти фотоприймача (випромінювання повинно попадати на приймач, проходячи БТ), проведено вимірювання пульсу та сатурації артеріальної крові БТ при дії МП апаратів «ПОЛЮС-4» (режими роботи 5,10,15 мТл), «МІТ-11» (режими роботи 6,12,15,18 мТл), «МАГ-30-4» (реальне значення магнітної індукції 20 мТл) впродовж 10 хвилин.



Рис. 3.2. Пульсоксиметр «ЮТАСОКСИ-200» (а)
та пульсоксиметричний сенсор (б)

Представлено експериментальні дослідження сатурації (С,%) (табл. 3.1) та пульсу (П, уд. / хв.) (табл. 7.2) ($p < 0,05$) впродовж часу (t, с) (індекси відповідають режиму роботи апарату магнітотерапії). Для режиму роботи 15 мТл у дужках позначені значення сатурації та пульсу на поверхні тканин пальця при контакті магнітного індуктора апарату «ПОЛЮС-4» з БТ.

Таблиця 3.1

Експериментальні дослідження сатурації (С,%) тканин пальця

t, с	C ₅	C ₆	C ₁₀	C ₁₂	C ₁₅	C ₁₈	C ₂₀
0	98,05±0,14	95,15±0,2	95,25±0,14	95,8±0,27	96,15±0,3 (97,4±0,24)	96±0,15	96,25±0,28
600	98,9±0,07	97,2±0,14	96,25±0,18	97,5±0,22	98,05±0,17 (98,35±0,18)	96,15±0,22	98,05±0,23

Експериментальні дослідження пульсу (П, уд. / хв.) тканин пальця

t, с	П ₅	П ₆	П ₁₀	П ₁₂	П ₁₅	П ₁₈	П ₂₀
0	73,45±0,36	78,1±0,53	73,45±0,65	76±0,41	73±0,48 (74,5±0,69)	63±0,281	73±0,75
600	69±0,3	72±0,48	69±0,52	69±0,42	69±0,49 (66,9±0,96)	61±0,29	64,8±0,85

Отримані результати лабораторних досліджень відповідають тенденціям клінічних досліджень зміни пульсу та сатурації при магнітотерапії, розглянутих в роботах [9, 80, 81, 86, 87].

3.2. Експериментальні дослідження зміни температури біологічної тканини при магнітотерапії

При проведенні процедури магнітотерапії використовується, як правило, об'єктивна діагностика захворювань, заснована на вивченні процесів теплопродукції та теплообміну. Вона використовує три головні методи отримання інформації [22]: термометрія, термографія, калориметрія. Термографія - ефективний безпечний неінвазивний інформативний метод реєстрації інфрачервоного випромінювання тіла людини, що поширюється від поверхні тіла людини, з метою діагностики різних захворювань і патологічних станів. В основу термографічної діагностики покладений принцип реєстрації спонтанного теплового інфрачервоного випромінювання біологічного об'єкта за допомогою інфрачервоних систем. Основою застосування інфрачервоної термографії в медичній діагностиці є кореляція між температурою та функціональним станом організму (окисно-відновлювальні процеси). Суть методу безконтактної термографії полягає в тому, що теплове випромінювання за допомогою системи спеціальних лінз фокусується на фотоприймачі, який має вибіркову чутливість до певної довжини хвиль інфрачервоного спектру. Важливою проблемою при тепловому контролі БТ при роботі МТА є розробка методики експерименту, аналіз результатів

та підбір обладнання. Реєстрація просторового розподілу нагрівання БТ під час проведення процедури магнітотерапії є досить складною задачею. Термографічний метод реєстрації температурних розподілів за власним випромінюванням біологічного об'єкта в інфрачервоному діапазоні довжини хвиль є ефективним способом вирішення даної задачі [123]. Застосування методів інфрачервоної термографії з використанням тепловізорів та рідкокристалічних термоіндикаторних плівок дозволяє реєструвати поверхневу температуру БТ. Аналіз даних термографії включає якісну і кількісну оцінку, а також обробку отриманої інформації за допомогою програмного забезпечення.

Для проведення експериментальних досліджень зміни температури БТ (пальці та долоні рук) запропонуємо [68, 129, 130, 132, 141] безконтактний температурний метод контролю впливу МП на БТ, який полягає в дистанційній реєстрації, візуалізації та аналізі теплових полів БТ, за допомогою інфрачервоної камери «MobiR M3» (рис. 3.3) під час процедури магнітотерапії.



Рис. 3.3. Інфрачервона камера «MobiR M3» та температурна інформаційна таблиця

Використання прецизійного повноекранного вимірювання температури дозволяє отримати розподіл теплового поля БТ з МТА під час проведення процедур магнітотерапії. Перевагами даної інфрачервоної камери є точне радіометричне температурне випромінювання, сучасна вбудована обробка термозображень, інтегрована сигналізація, професійне програмне забезпечення. Дані вимірювань інфрачервоної камери обробляються за допомогою програми Launch Guide Ir Analyser.

Експериментальні дослідження зміни температури БТ під впливом МП проводилися в лабораторних умовах, близьких до клінічних. Дослідження впливу МП та зміни температури БТ під час сеансу магнітотерапії апаратами «МІТ-11» (режими роботи 12, 15, 18 мТл), «ПОЛЮС-4» (режими роботи 5, 10, 15 мТл) та «МАГ-30-4» (20 мТл) проводились на відстані ~ 20 см від інфрачервоної камери до руки, під кутом 90°, в провітрюваному приміщенні з температурою оточуючого середовища $T \leq 24^{\circ}\text{C}$, з перервами для охолодження індукторів МТА та БТ з врахуванням методичних рекомендацій до проведення сеансу магнітотерапії та вимірювання температури [97]. Проведена статистична обробка результатів лабораторних досліджень методом варіаційної статистики з використанням критерію Ст'юдента. Отримані наступні результати. Температура БТ збільшується при проведенні процедури магнітотерапії верхніх кінцівок впродовж 5 хвилин МТА:

- «МІТ-11» для $B=12$ мТл з $35,05 \pm 0,1$ до $35,52 \pm 0,12$ ($^{\circ}\text{C}$), для $B=15$ мТл з $35,23 \pm 0,13$ до $36,04 \pm 0,14$ ($^{\circ}\text{C}$), для $B=18$ мТл з $35,44 \pm 0,11$ до $36,53 \pm 0,12$ ($^{\circ}\text{C}$) ($p < 0,05$);

- «ПОЛЮС-4» для $B=5$ мТл з $34,09 \pm 0,11$ до $34,23 \pm 0,13$ ($^{\circ}\text{C}$), для $B=10$ мТл з $34,33 \pm 0,14$ до $35,18 \pm 0,15$ ($^{\circ}\text{C}$), для $B=15$ мТл з $34,33 \pm 0,14$ до $35,18 \pm 0,15$ ($^{\circ}\text{C}$) ($p < 0,05$);

- «МАГ-30-4» з $33,91 \pm 0,09$ до $35,46 \pm 0,11$ ($^{\circ}\text{C}$) ($p < 0,05$).

Початкова температура вимірювалась за 10 секунд процедури магнітотерапії.

За результатами досліджень побудовані графіки залежності зміни температури з часом при контакті індуктора з БТ для апаратів «МІТ-11» (рис. 3.4 (а)), «ПОЛЮС-4» (рис. 3.4 (б)), «МАГ-30-4» (рис. 3.4 (в)).

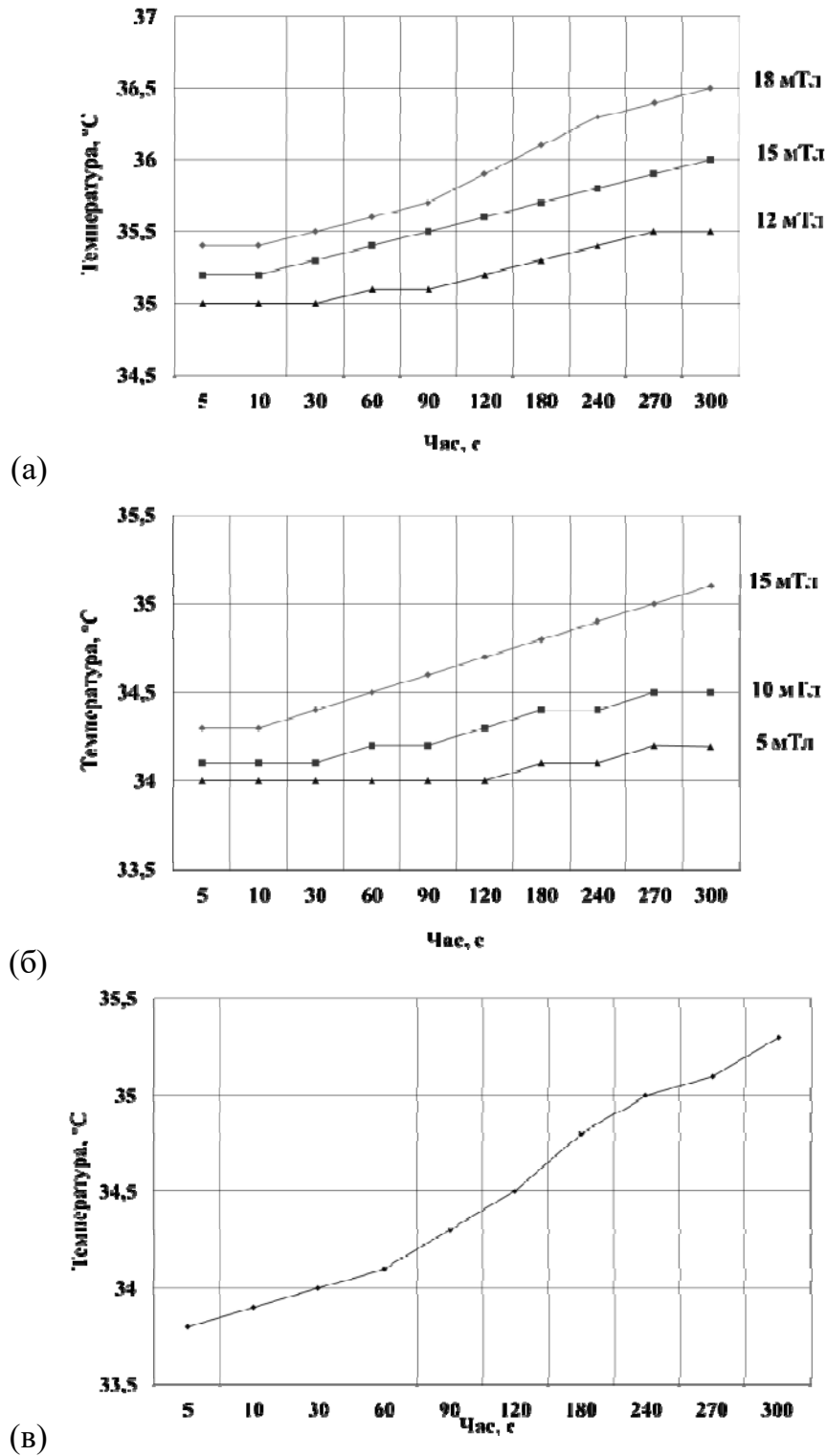
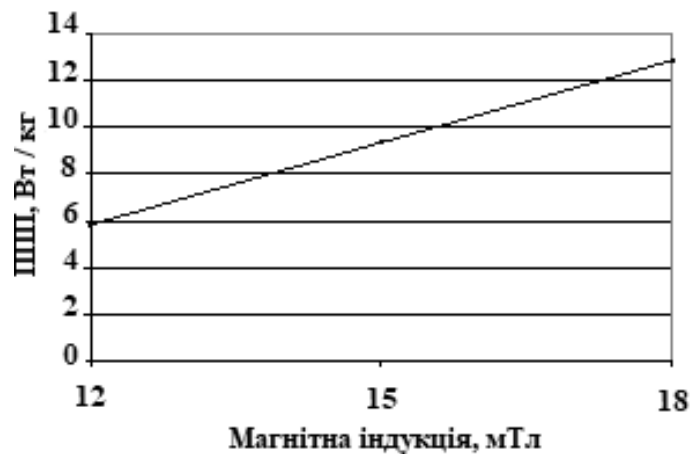


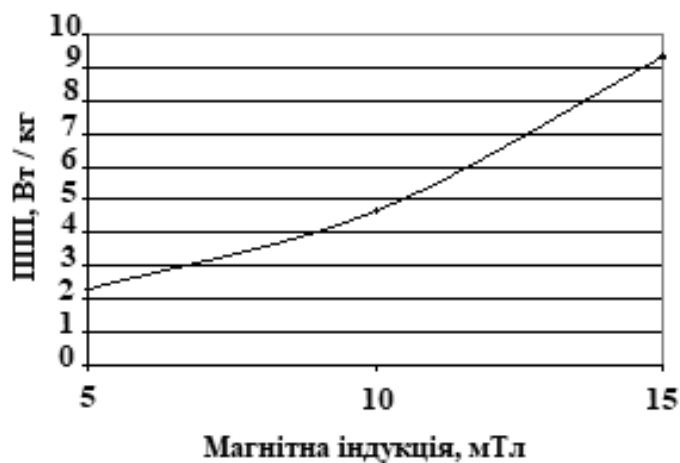
Рис. 3.4. Експериментальні дослідження зміни температури БТ при магнітотерапії апаратами «МІТ-11» (а), «ПОЛЮС-4» (б), «МАГ-30-4» (в)

Результати лабораторних досліджень відповідають клінічним дослідженням зміни температури БТ при магнітотерапії, розглянутих в роботах [9, 80, 142].

Для розрахунку питомої поглинаючої потужності за формулою (3.53) необхідно знати початкову швидкість зростання температури БТ. Початкова швидкість зростання температури БТ взята з експериментальних досліджень зміни температури БТ при магнітотерапії апаратами «МІТ-11» та «ПОЛЮС-4» (рис. 3.4). Залежність питомої поглинаючої потужності від магнітної індукції представлено на рис. 3.5 (а,б). Результати показують, що значення питомої поглинаючої потужності збільшується зі збільшенням величини магнітної індукції.



(а)



(б)

Рис. 3.5. Залежність питомої поглинаючої потужності від магнітної індукції (а - «МІТ-11», б - «ПОЛЮС-4»)

3.3. Прогнозування часу досягнення критично допустимого рівня температури біологічної тканини при дії магнітного поля

За даними В. Є. Іларіонова [13] при $40^{\circ}\text{C} \leq T \leq 42^{\circ}\text{C}$ порушуються знакові режими акустичних та електромагнітних випромінювань хромосомного континуума біологічних систем, виникають перешкоди для «солітонної» провідності на ДНК, РНК, білках та їх водних оболонок. На рис. 3.6 графічно показаний час досягнення критично допустимого рівня температури ($T = 40^{\circ}\text{C}$) за результатами експериментальних досліджень (рис. 3.4) для апаратів магнітотерапії «МІТ-11» (12,15, 18 мТл), «ПОЛЮС-4» (10, 15 мТл), «МАГ-30-4» (20 мТл).

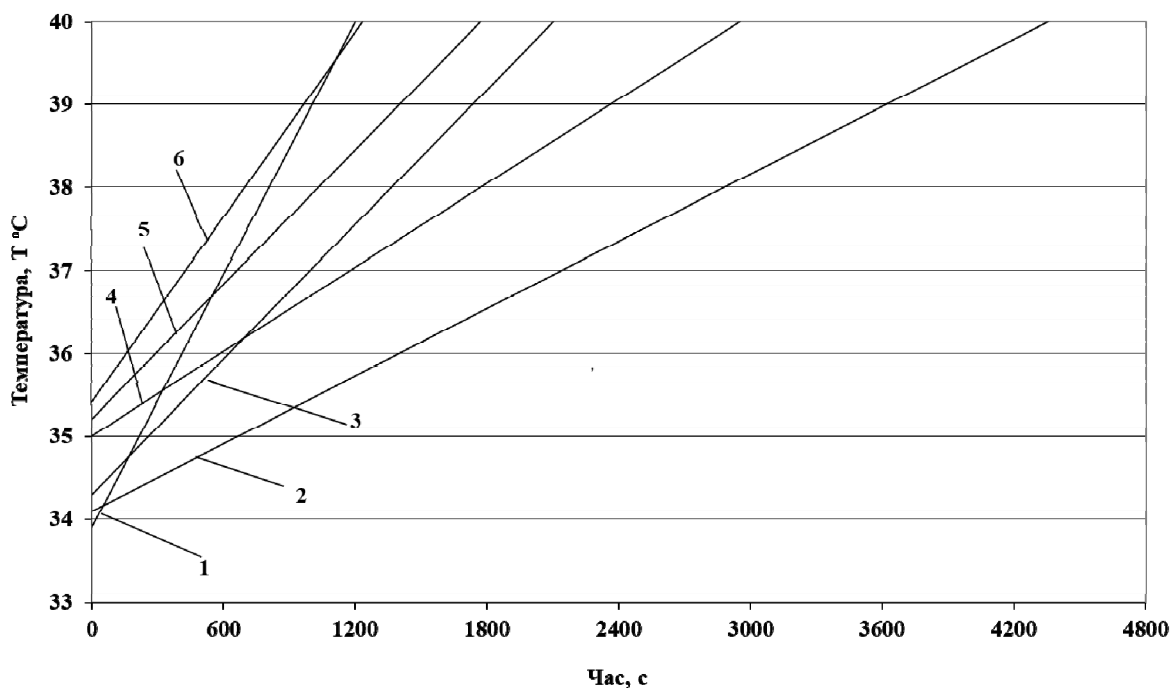


Рис. 3.6. Час досягнення критично допустимого рівня температури БТ при дії МП за результатами експериментальних досліджень

На рис. 3.6 крива 1 показує час досягнення критично допустимого рівня температури ($T = 40^{\circ}\text{C}$) БТ під час сеансу магнітотерапії апаратом «МАГ-30-4» ($B=20$ мТл, $t=20,34$ хв.), криві 2,3 - апаратом «ПОЛЮС-4»

(для $B=10$ мТл $t=72,52$ хв., для $B=15$ мТл $t=35,03$ хв.), криві 4,5,6 - апаратом «МІТ-11» (для $B=12$ мТл $t=49,17$ хв., для $B=15$ мТл $t=29,5$ хв., для $B=18$ мТл $t=20,56$ хв.).

В методичних рекомендаціях з проведення фізіотерапевтичних процедур час використання МП при проведенні сеансу магнітотерапії судин верхніх кінцівок складає 10-15 хв. для апаратів магнітотерапії з індукторами соленоїдами та 15-20 хв. для апаратів з індукторами електромагнітів [97]. Час досягнення критично допустимого рівня температури при магнітотерапії перевищує 20 хв., що задовольняє нормам використання МП при проведенні процедури фізіотерапії.

3.4. Порівняння результатів експериментальних досліджень з математичним моделюванням зміни температури біологічної тканини при дії магнітного поля

В табл. 3.3 представлено результати математичного моделювання за формулами (2.15), (2.19) та (2.20) (відповідно T'_{t1} , T'_{t2} та T'_{t3}) та експериментальних досліджень швидкості зміни температури БТ МТА «МІТ-11» (T'_{t4}), «ПОЛЮС-4» (T'_{t5}) та «МАГ-30-4» (T'_{t6}).

Таблиця 3.3

Порівняння прогнозованих та експериментальних досліджень швидкості зростання температури БТ

Магнітна індукція B , мТл	Математичне моделювання швидкості зростання температури $T'_i \cdot 10^{-3}$, °C / с			Експериментальне дослідження швидкості зростання температури $T'_i \cdot 10^{-3}$, °C / с		
				«МІТ-11»	«ПОЛЮС-4»	«МАГ-30-4»
	T'_{t1}	T'_{t2}	T'_{t3}	T'_{t4}	T'_{t5}	T'_{t6}
10	1,125	1,108	1,19	-	1,355	-
12	1,62	1,596	1,714	1,694	-	-
15	2,532	2,494	2,677	2,711	2,711	-
18	3,646	3,592	3,856	3,728	-	-
20	4,501	4,434	4,761	-	-	5,084

Для формул математичного моделювання зміни температури (від часу та магнітної індукції) (2.15) та (2.19) обираємо значення коефіцієнту пропорційності $k = \frac{r^2}{20}$. Коефіцієнт охолодження $k_1 = 0,0001$ (1 / с).

На рис. 3.7 приведено графічне порівняння відносних похибок δ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) теоретичних та експериментальних досліджень швидкості зміни температури.

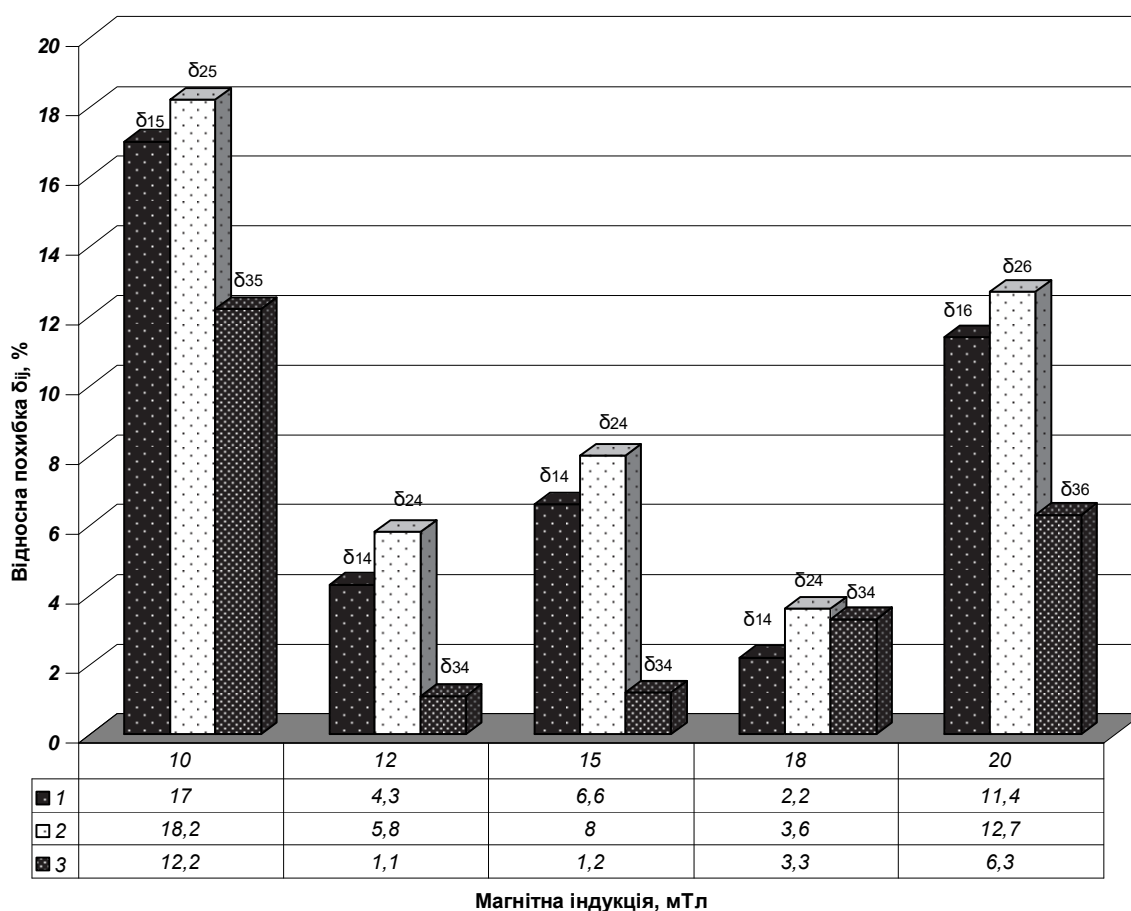


Рис. 3.7. Порівняльний аналіз відносних похибок швидкості зміни температури БТ за результатами теоретичних та експериментальних досліджень

Аналіз даних показує, що найменша відносна похибка експериментальних даних швидкості зростання температури БТ при магнітотерапії апаратом «МІТ-11» з розрахунковими формулами (2.51), (2.55), (2.56)

$\delta_{34} = 1,1\%$ при $B = 12$ мТл, а найбільша відносна похибка $\delta_{24} = 8\%$ при $B = 15$ мТл. Для МТА «ПОЛЮС-4» відповідні похибки складають $\delta_{35} = 1,2\%$ при $B = 15$ мТл та $\delta_{25} = 18,2\%$ при $B = 10$ мТл (як свідчать розрахунки в даному випадку для $B = 15$ мТл відносні похибки $\delta_{15} = \delta_{14}, \delta_{25} = \delta_{24}, \delta_{35} = \delta_{34}$). Найменша відносна похибка експериментальних даних швидкості зростання температури БТ при дії апарату «МАГ-30-4» з її математичним моделюванням $\delta_{36} = 6,3\%$. Отримано високу збіжність теоретичних та експериментальних досліджень зміни температури БТ при магнітотерапії.

РОЗДІЛ IV. МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ СЕРІЇ «МІТ»

В даному розділі розглянуто апарати магнітофізіотерапії розробки та виробництва НМЦ «Медінтех» та їх модифікації.

4.1. Магнітотерапевтичні апарати «МІТ» базового рівня

Представимо апарати магнітотерапії серії «МІТ».

Апарат для фізіотерапії комбінований «МІТ-11», основний базовий апарат (рис. 3.1), призначений для лікування пацієнтів з використанням НМП та ультразвуку. Розглянемо технічні характеристики апарату «МІТ-11». Частота модуляції ультразвуку та МП 0-99 Гц. Робоча частота ультразвукових коливань генератора $44 \pm 4,4$ кГц. Амплітуда ультразвукових продольних механічних коливань дорівнює 2 ± 1 мкм, 3 ± 1 мкм, $4+2;-1$ мкм, $5+2;-1$ мкм. Потужність ультразвукового випромінювання 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5 Вт / см². Магнітна індукція на поверхні магнітолазерного індуктора 6, 12, 15, 18 мТл. Довжина хвилі (червоний лазер) 0,67 мкм. Довжина хвилі (інфрачервоний лазер) 0,78 мкм. Потужність магнітолазерного випромінювання 25-100 мВт. Апарат живиться від мережі змінного струму частотою $50 \pm 0,5$ Гц, напругою 220 ± 22 В. Таймер від 1 до 99 хвилин. Маса апарата в комплекті поставки не більше 7 кг. Показання для лікувального застосування: нервова система, урологічні та гінекологічні захворювання, захворювання ЛОР органів, захворювання опорно - рухового апарату, запалювальний процес, косметологія та больовий синдром.

Для дослідження фактичного значення магнітної індукції апарату «МІТ-11» проведені експериментальні дослідження фактичного розподілу магнітної індукції на магнітолазерних індукторах апарату на частотах 25, 50, 75, 99 Гц. Вимірювання змінної і постійної складової МП

лівого (червоного) та правого (інфрачервоного) індукторів проведені за допомогою мілітесламетра «Ф 4356» (рис. 4.1 (а)) і тесламетра «НТ 20» (рис. 4.1 (б)).



а)



б)

Рис. 4.1. Мілітесламетр «Ф 4356» (а) і тесламетр «НТ 20» (б)

Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 4.2 - 4.9.

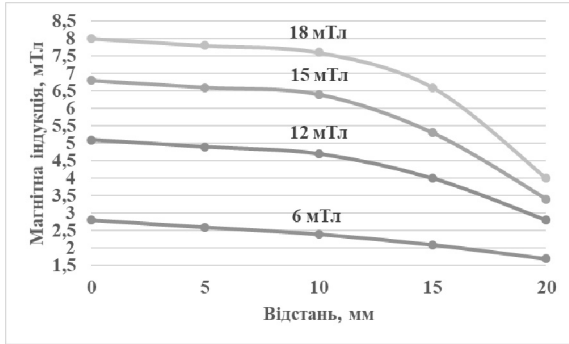
Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,8 (2,4); 5,1 (3,8); 6,8 (5,4); 8 (6,5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,7 (0,55); 2,8 (0,65); 3,4 (1); 4 (1,5) (мТл). Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,8 (2,6); 5,2 (4); 7 (5,7); 8,2 (6,75) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,6 (0,65); 2,9 (0,95); 3 (1); 4,1 (1,3) (мТл).

Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,6 (1,65); 4,7 (2,7); 6,5 (4); 7,7 (5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,4 (0,5); 2,3 (0,5); 3 (0,6); 3,4 (1,2) (мТл). Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,6 (2); 4,8 (3,2); 6,3 (4,4); 7,8 (5,35) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,2 (0,4); 2,5 (0,4); 3 (0,8); 3,7 (1) (мТл).

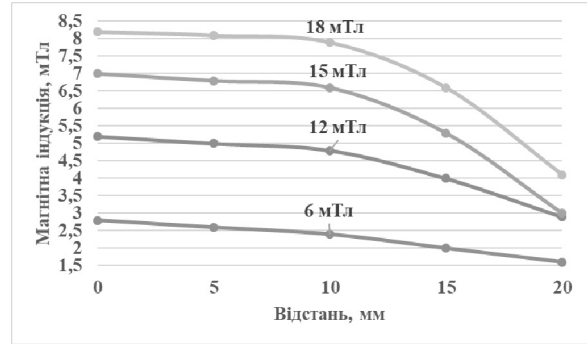
Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,5 (1,52); 4,5 (2); 6,2 (2,8); 7,4 (3,7) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1 (0,35); 2,2 (0,35); 2,9 (0,55); 3,4 (0,7) (мТл). Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,6 (1,62); 4,7 (2,2); 6,2 (2,7); 7,4 (3,8) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,4); 2 (0,4); 2,7 (0,5); 3,6 (0,65) (мТл).

Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,4 (1,12); 4,3 (1,4); 6,0 (2,2); 7,1 (2,8) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1 (0,25); 2,1 (0,3); 2,8 (0,4); 3,4 (0,4) (мТл). Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному

індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,3 (1,3); 4,4 (1,7); 6 (2,4); 7,3 (3,1) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,2); 2 (0,3); 2,7 (0,3); 3,6 (0,55) (мТл).

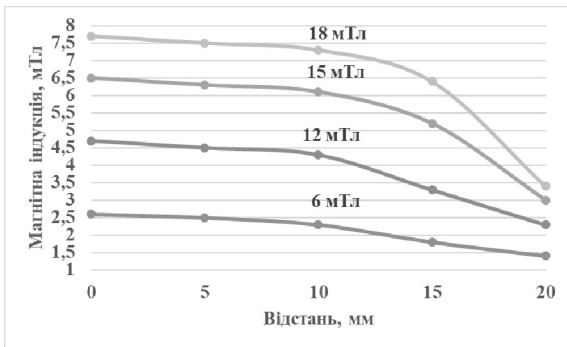


(а)

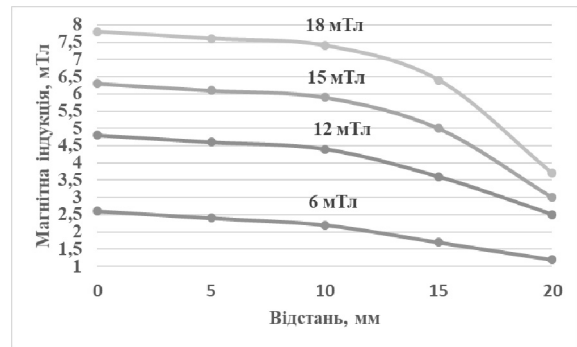


(б)

Рис. 4.2. Експериментальні дослідження ПМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий, б - правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» на частоті 25 Гц)

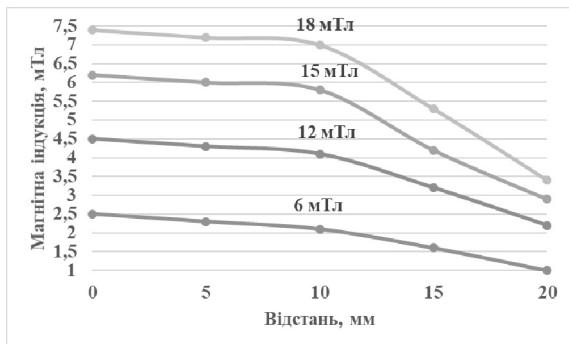


(а)

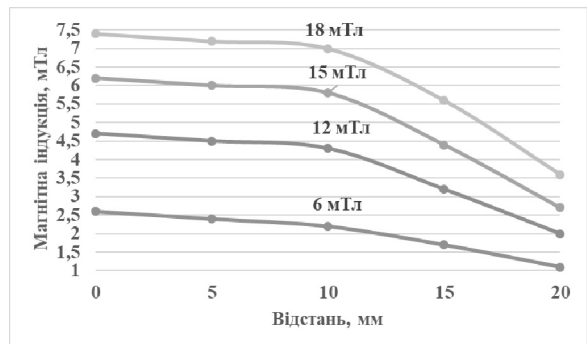


(б)

Рис. 4.3. Експериментальні дослідження ПМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» на частоті 50 Гц)

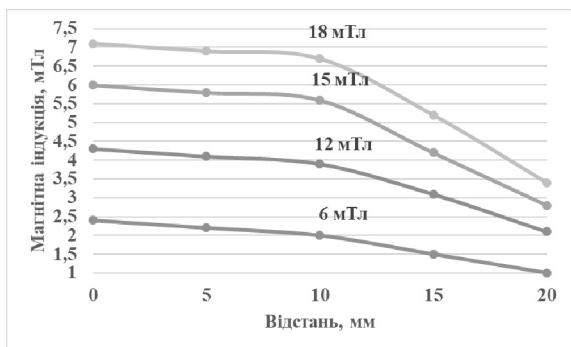


(а)

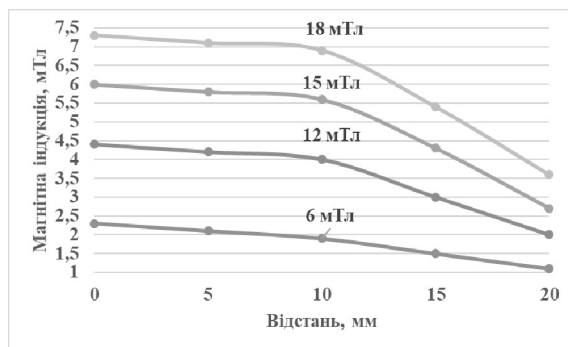


(б)

Рис. 4.4. Експериментальні дослідження ПМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» на частоті 75 Гц)

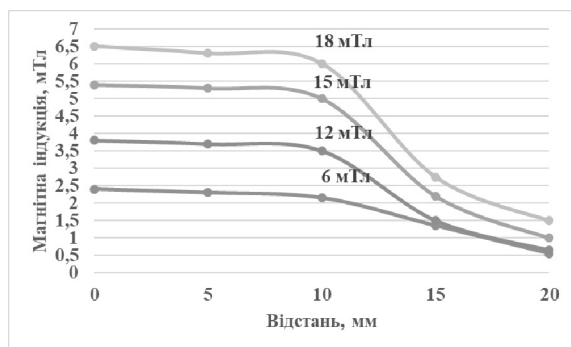


(a)

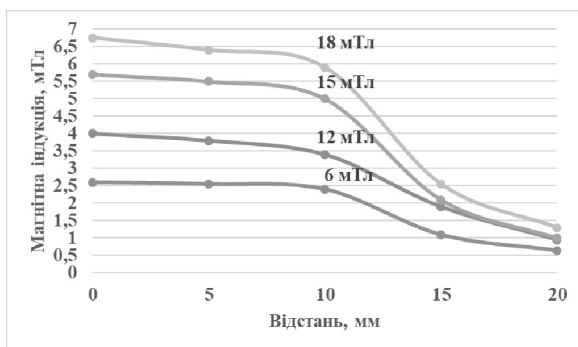


(б)

Рис. 4.5. Експериментальні дослідження ПМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» на частоті 99 Гц)

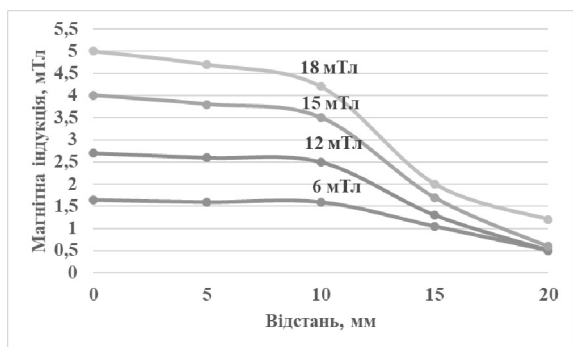


(a)

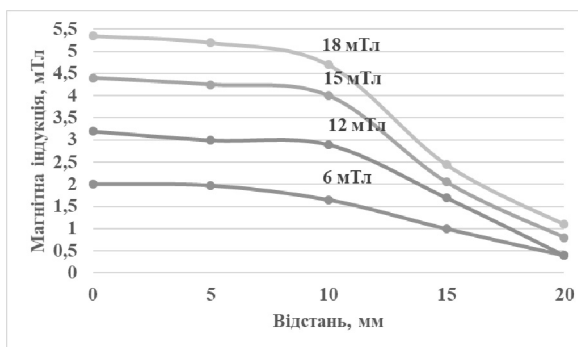


(б)

Рис. 4.6. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» на частоті 25 Гц)

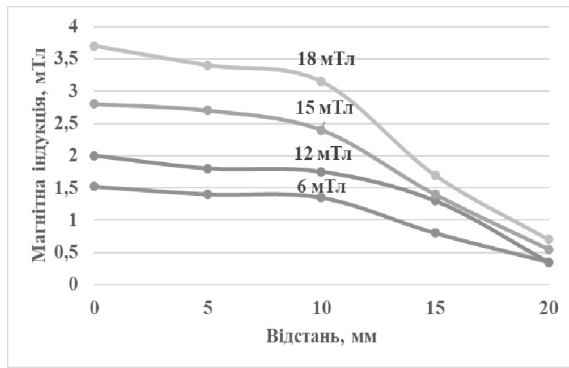


(a)

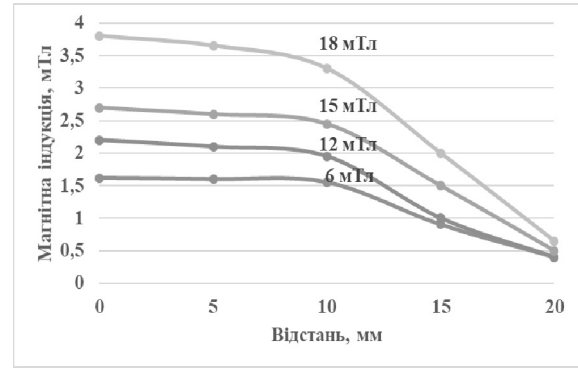


(б)

Рис. 4.7. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» на частоті 50 Гц)

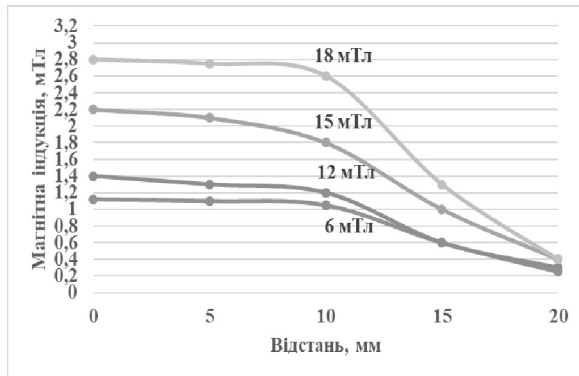


(a)

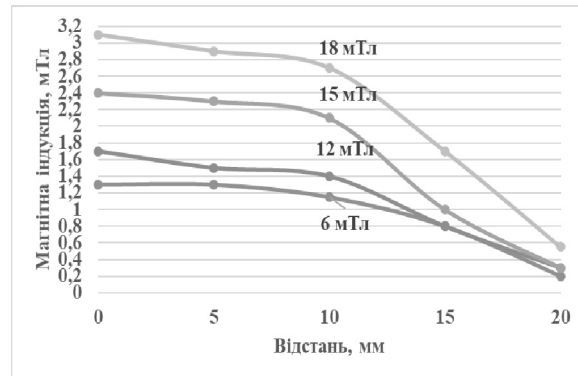


(б)

Рис. 4.8. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» на частоті 75 Гц)



(a)



(б)

Рис. 4.9. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітолазерних індукторах (а - лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» на частоті 99 Гц)

Для дослідження фактичного значення магнітної індукції апарату «МІТ-11» проведені експериментальні дослідження фактичного розподілу магнітної індукції на виключно магнітній стороні індукторів апарату на частотах 25,50,75,99 Гц. Вимірювання постійної і змінної складової МП лівого (червоного) та правого (інфрачервоного) індукторів проведені за допомогою мілітесламетра «Ф 4356» (рис. 4.1 (а)) і тесламетра «НТ 20» (рис. 4.1 (б)).

Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 4.10 - 4.17.

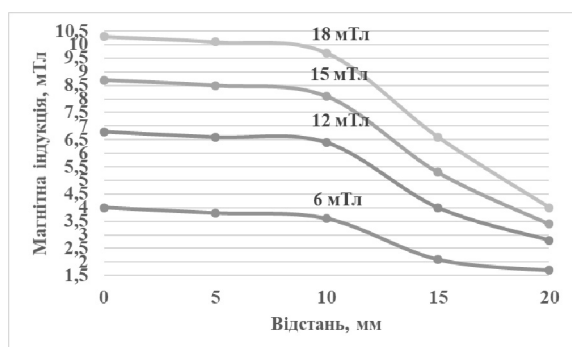
Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 4 (2,1); 6,8 (2,7); 8,7 (3,9); 10,3 (5,7) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,7 (0,4); 2,8 (0,4); 3,4 (0,5); 4 (0,9) (мТл). Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 4 (2,2); 6,6 (3); 8,4 (4); 10 (6,1) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,6 (0,3); 2,8 (0,4); 3 (0,45); 4,1 (0,6) (мТл).

Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,8 (1,57); 6,4 (2,2); 8,4 (3,1); 9,6 (4,1) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,1); 1,9 (0,2); 2,6 (0,3); 3 (0,3) (мТл). Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,9 (1,56); 6,6 (2,2); 8,4 (3,4); 9,4 (4,5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,1); 1,7 (0,2); 2,7 (0,25); 3,2 (0,3) (мТл).

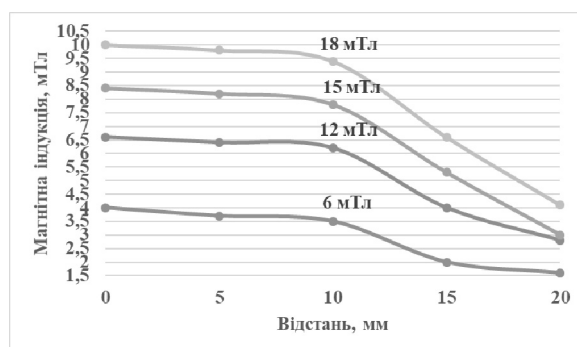
Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,8 (1,4); 6 (1,7); 7,9 (2,5); 9,3 (3,2) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1 (0,05); 1,9 (0,1); 2,4 (0,15); 2,9 (0,2) (мТл). Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,7 (1,25); 5,8 (1,4); 7,6 (2,1); 9,1 (2,9) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,05); 1,9 (0,1); 2,3 (0,15); 3,1 (0,2) (мТл).

Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,6 (0,9); 5,4 (1,1); 7,8 (1,6); 9,1 (2,1) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 0,9(0,05); 1,7 (0,05); 2,1 (0,1); 2,8 (0,15) (мТл). Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових на інфрачервоному

індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,5 (0,85); 5,4 (0,9); 7,6 (1,5); 8,9 (1,8) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 0,8(0,05);1,6 (0,05); 2,1 (0,1); 2,9 (0,15) (мТл).

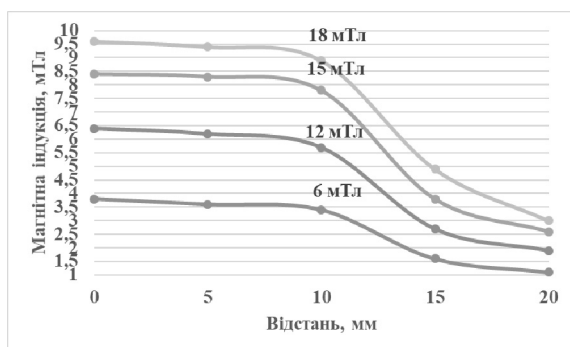


(а)

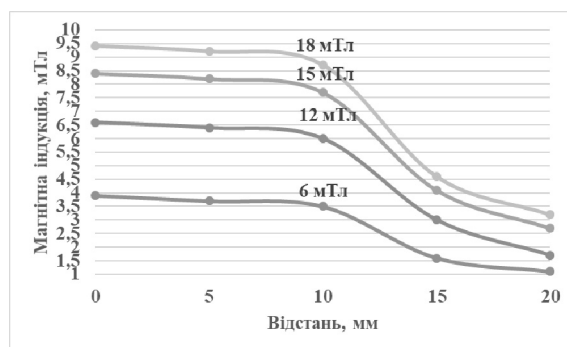


(б)

Рис. 4.10. Експериментальні дослідження ПМП на магнітних індукторах (а -лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» на частоті 25 Гц)

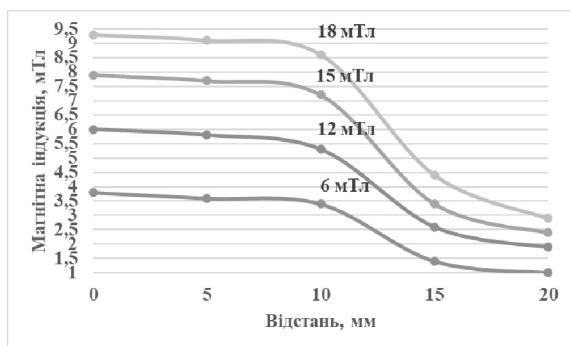


(а)

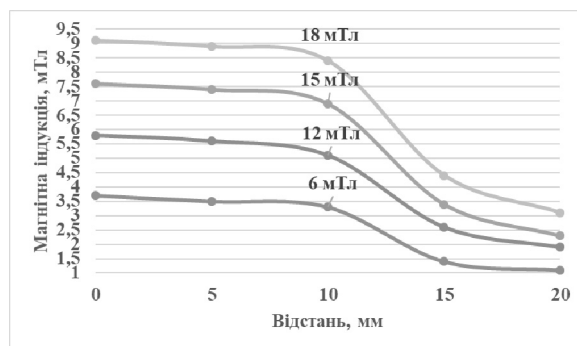


(б)

Рис. 4.11. Експериментальні дослідження ПМП на магнітних індукторах (а-лівий (червоний),б-правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» частота 50 Гц)

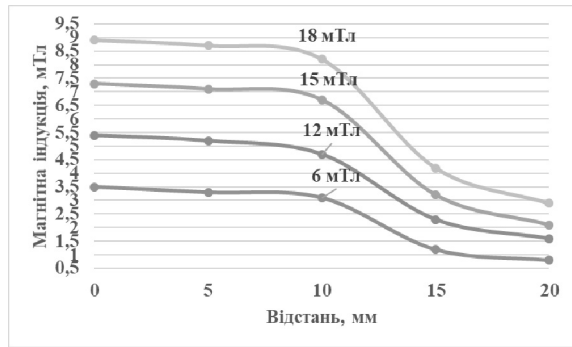
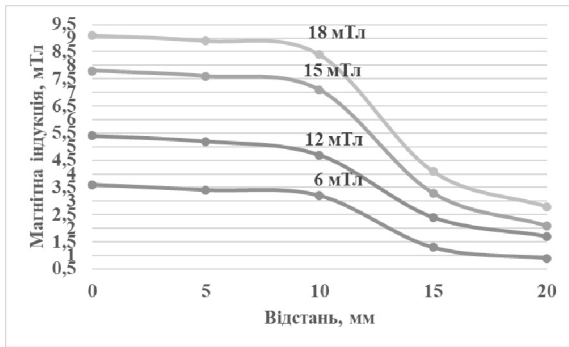


(а)



(б)

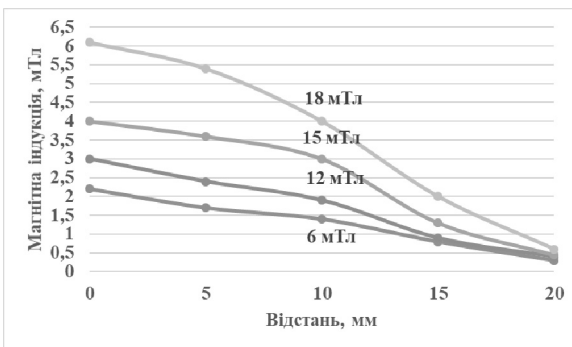
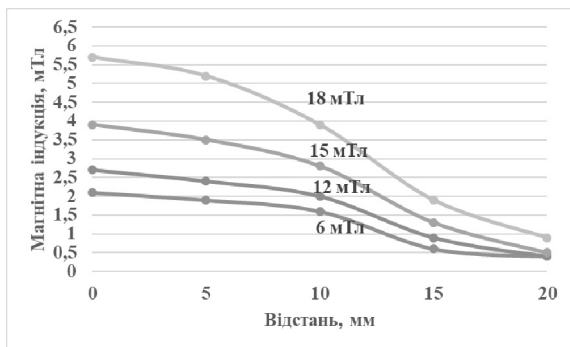
Рис. 4.12. Експериментальні дослідження ПМП на магнітних індукторах (а -лівий (червоний), б-правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» частота 75 Гц)



(a)

(б)

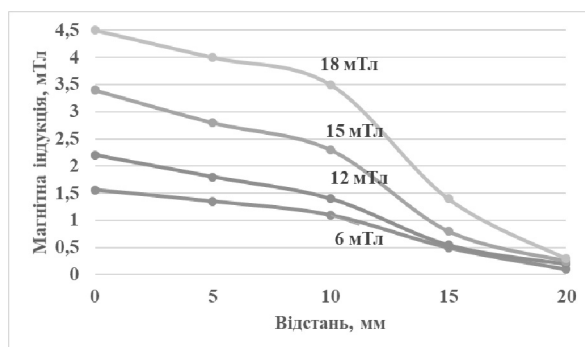
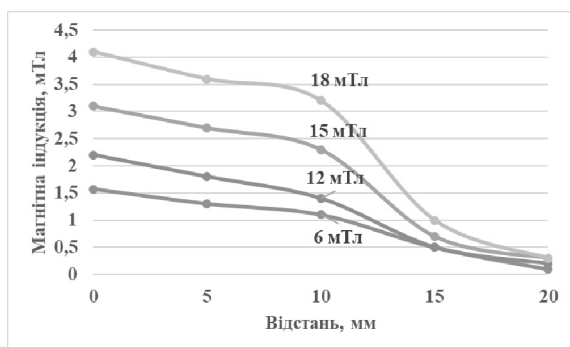
Рис. 4.13. Експериментальні дослідження ПМП на магнітних індукторах (а -лівий (червоний), б-правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» частота 99 Гц)



(a)

(б)

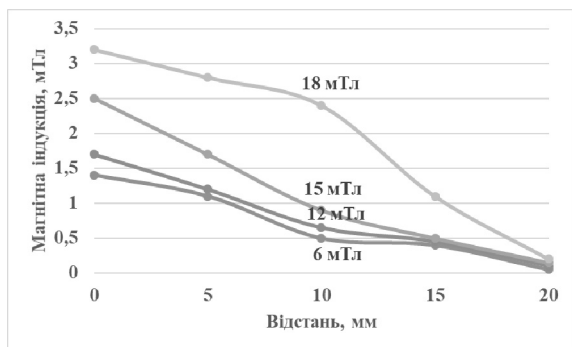
Рис. 4.14. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітних індукторах (а -лівий (червоний), б -правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» частота 25 Гц)



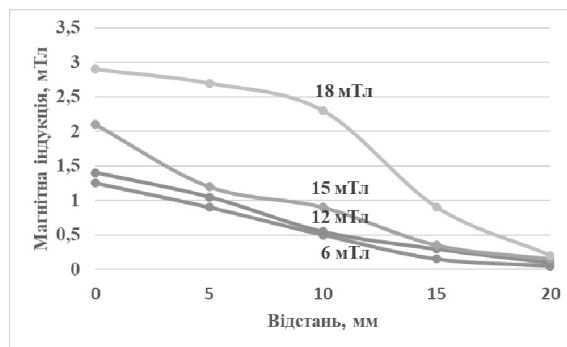
(a)

(б)

Рис. 4.15. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітних індукторах (а-лівий (червоний), б - правий (інфрачервоний) апарату «МПТ-11» частота 50 Гц)

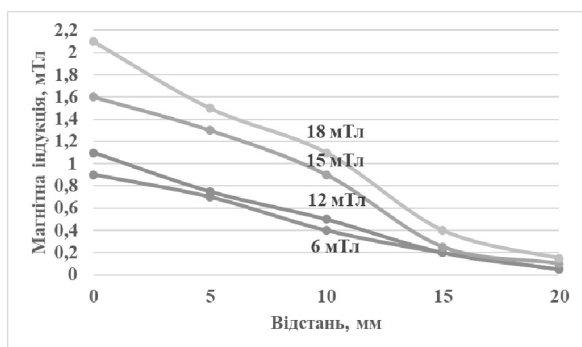


(а)

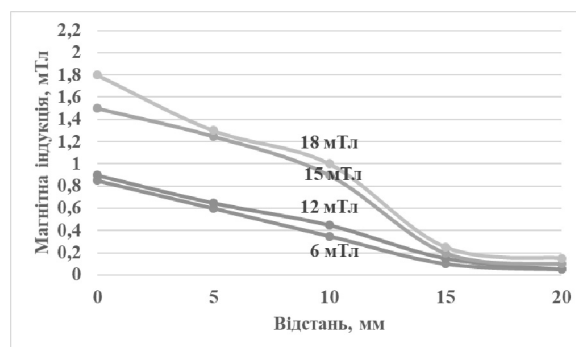


(б)

Рис. 4.16. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітних індукторах (а -лівий (червоний), б-правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» частота 75 Гц)



(а)



(б)

Рис. 4.17. Експериментальні дослідження ЗМП на магнітних індукторах (а- лівий (червоний),б- правий (інфрачервоний) апарату «МІТ-11» частота 99 Гц)

За результатами проведених експериментальних досліджень на апараті «МІТ-11» можна зробити висновки: чим більше встановлений на апараті режим роботи, тим більше фактичне значення магнітної індукції на індукторі; магнітна індукція зменшується зі збільшенням частоти і відстані від центра індуктора; магнітна індукція більш суттєво зменшується починаючи з відстані 1,5 см від центра індуктора.

НМЦ «Медичні інноваційні технології» розроблений апарат для фізіотерапії комбінований «МІТ-11 фізіо» (рис. 4.18), який, на відміну, від апарату «МІТ-11», лікує вихідним діючим фактором - потужністю МП, яка

встановлюється на панелі керування апарату. Частота модуляції ультразвуку та МП 0-99,9 Гц. Робоча частота ультразвукових коливань генератора $44 \pm 4,4$ кГц. Амплітуда ультразвукових продольних механічних коливань дорівнює 2 ± 1 мкм, 3 ± 1 мкм, $4+2;-1$ мкм, $5+2;-1$ мкм. Потужність МП 0; 25 мВт / 8 мТл; 50 мВт / 12 мТл; 75 мВт / 16 мТл; 100 мВт / 20 мТл. Максимальна потужність магнітоквантового індуктора червоного та інфрачервоного діапазону спектра 100 ± 20 мВт. Таймер 1-29 хвилин. Маса апарату в комплекті поставки не більше 6,5 кг. Показання для лікувального застосування: нервова система, урологічні та гінекологічні захворювання, захворювання ЛОР органів, захворювання опорно-рухового апарату, запалювальний процес, косметологія та больовий синдром.



Рис. 4.18. Апарат для фізіотерапії комбінований «MIT-11 фізіо»

На базі апарату для фізіотерапії комбінованого локальної дії «MIT-11» на основі конструктивних рішень, запропонованих в [143-146] нами, спільно з НМЦ «Медичні Іноваційні Технології», розроблено експериментальний зразок апарату «MIT-11Т» (рис. 4.20), в магнітному індукторі якого з червоним лазером встановлено температурний датчик. Температурне реле включено послідовно в ланцюг апарат - індуктор. Температурним датчиком здійснюється контроль температури індуктору та БТ під час фізіотерапевтичної процедури. Вимірювання температури проводиться з точністю $0,1$ °С. Робочий діапазон температури на реле $0 - 42$ °С. Наявність 33 сприяє

підвищенню лікувального ефекту. Реле забезпечує автоматичне відключення магнітних індукторів апарату при досягненні гранично допустимого значення температури.



Рис. 4.19. Експериментальний зразок апарату «МІТ-11Т»
з температурним реле

Проведене математичне моделювання апарату «МІТ-11Т» показує його високу лікувальну ефективність [147].

На сучасному етапі розвитку інформаційно - вимірювальної техніки актуального значення набуває контроль технічних характеристик фізіотерапевтичних апаратів. Магнітна індукція - важлива технічна характеристика та фактор лікування апаратів магнітотерапії. Для дослідження фактичного значення магнітної індукції та порівняння з режимами роботи експериментального зразка апарату «МІТ-11Т» зі 33 представлено результати вимірювання ЗМП і ПМП лівого (червоного) та правого (інфрачервоного) індукторів за допомогою тесламетрів «Ф4356» [рис. 4.1 (а)] та «НТ-20» [рис. 4.1 (б)] на частотах 25, 50, 75, 99 Гц на магнітолазерній та виключно магнітній сторонах.

Вимірюємо магнітну індукцію на магнітолазерній стороні індуктора. Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 8.20 - 8.27.

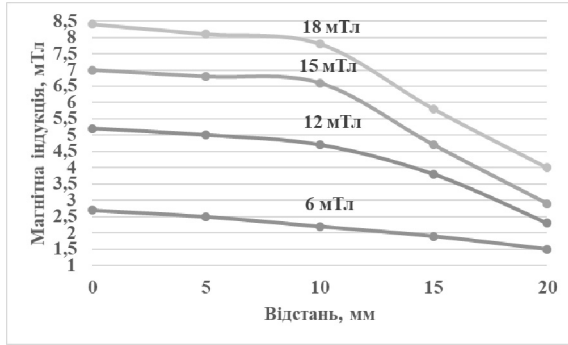
Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,7 (2,2); 5,2 (3,3); 7,1 (4,7); 8,4 (5,8) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктору до 1,5 (0,65); 2,3 (0,7); 2,9 (1,2); 3,6 (2,1) (мТл) (рис. 9.17 (а)). Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,6 (2,35); 5 (3,7); 6,7 (5,1); 7,8 (6,1) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм от центра до 1,4 (0,45); 2,1 (1); 3,3 (1,3); 4,1 (1,8) (мТл).

Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,5 (1,75); 4,8 (2,5); 6,7 (3,8); 8 (4,7) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,2 (0,55); 2,3 (0,65); 2,8 (1); 3,5 (1,6) (мТл) (рис. 9.18 (а)). Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,4 (1,82); 4,8 (2,8); 6,2 (4,2); 7,7 (5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,4); 2,1 (0,5); 2,6 (1,1); 3,9 (1,65) (мТл).

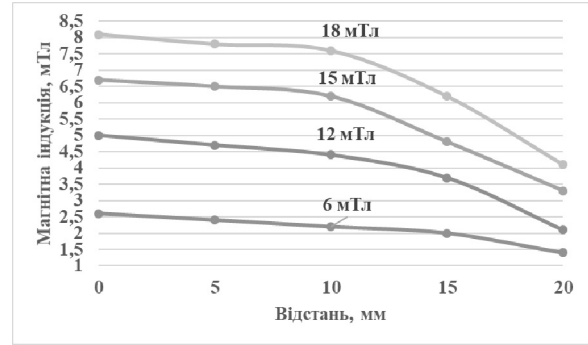
Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,3 (1,52); 4,5 (1,8); 6,3 (2,1); 7,7 (3,15) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,35); 2,2 (0,4); 2,8 (0,5); 3,5 (0,9) (мТл) (рис. 9.19 (а)). Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,2(1,4);4,4(2);6(2,3);7,2(2,9)(мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1(0,4);2,1(0,4);2,6(0,6);3,7(0,7)(мТл).

Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,1 (1,2); 4,2 (1,45); 6,1 (2,1); 7,5 (2,7) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,35); 2,1 (0,35); 2,7 (0,5); 3,4 (0,7) (мТл) (рис. 9.20 (а)).

Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,1 (1,25); 4,1 (1,6); 5,8 (2,3); 7 (2,9) (мТл) та зменшується на межі 20 мм від центра індуктора до 0,9 (0,35); 2 (0,4); 2,6 (0,6); 3,5 (0,6) (мТл).

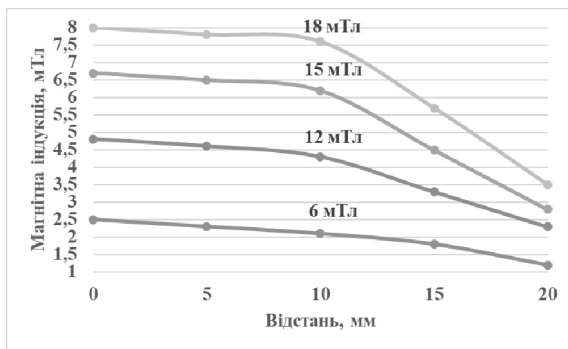


(a)

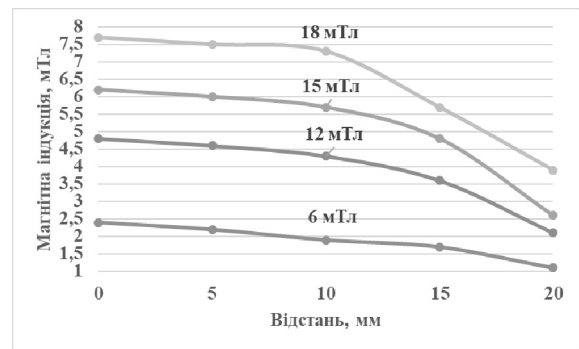


(б)

Рис. 4.20. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітолазерній стороні (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» на частоті 25 Гц

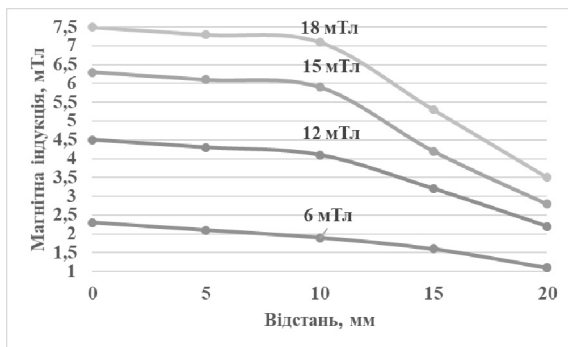


(a)

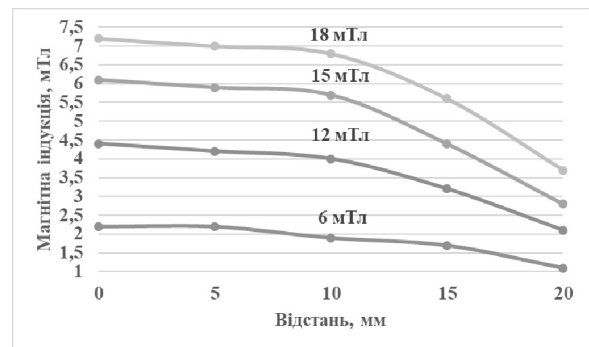


(б)

Рис. 4.21. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітолазерній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 50 Гц

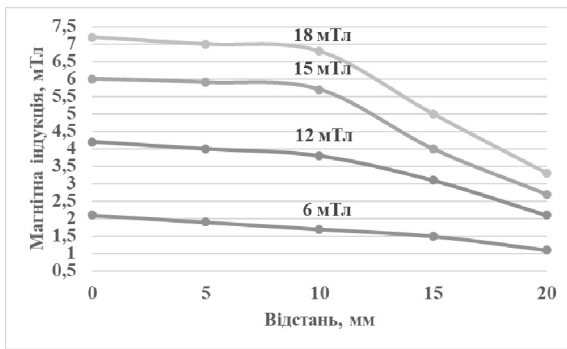


(a)

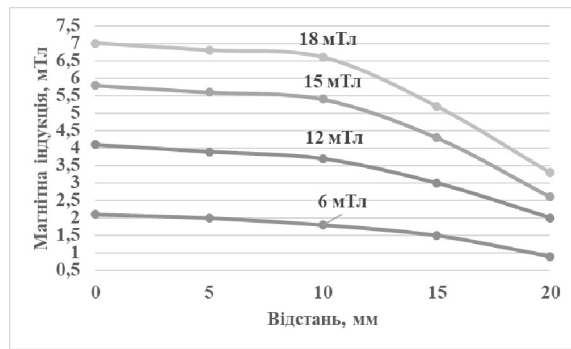


(б)

Рис. 4.22. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітолазерній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 75 Гц

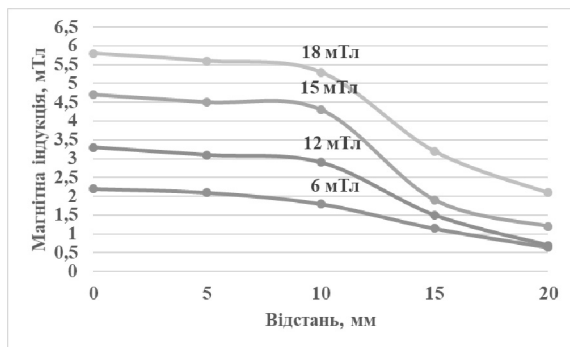


(a)

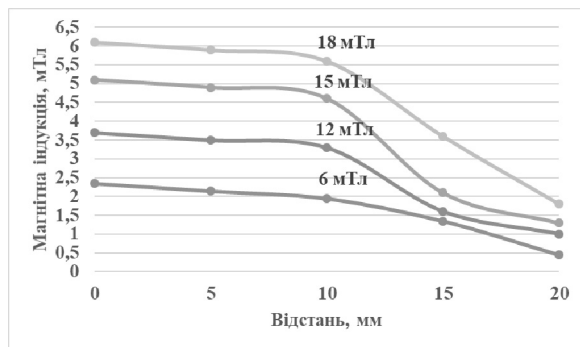


(б)

Рис. 4.23. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітолазерній стороні червоного(а) та інфрачервоного(б) індукторів апарату «МІТ-11Т» частота 99 Гц

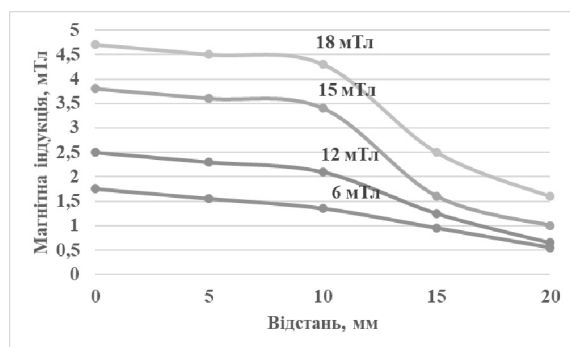


(a)

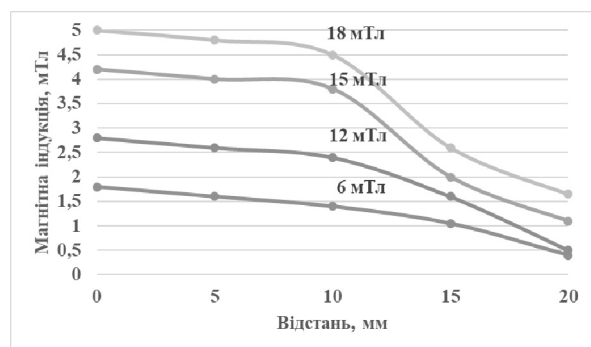


(б)

Рис. 4.24. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітолазерній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МІТ-11Т» частота 25 Гц

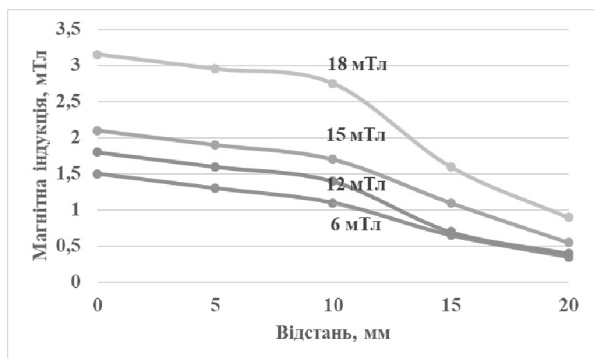


(a)

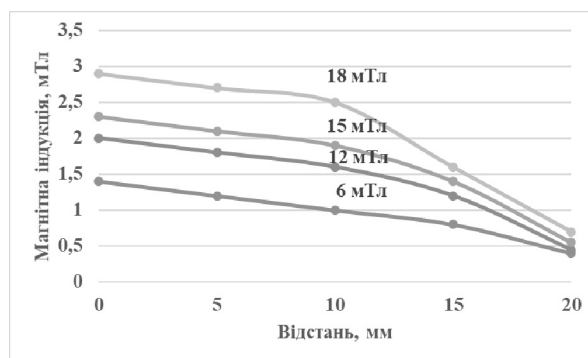


(б)

Рис. 4.25. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітолазерній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МІТ-11Т» частота 50 Гц

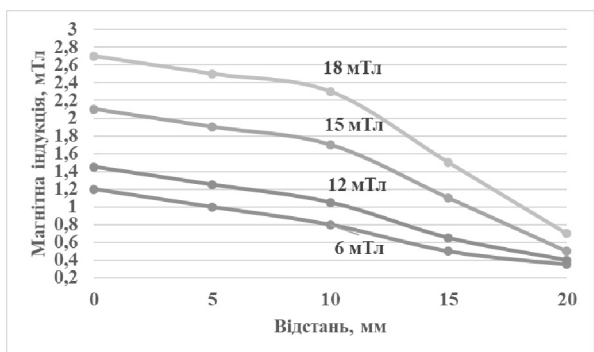


(a)

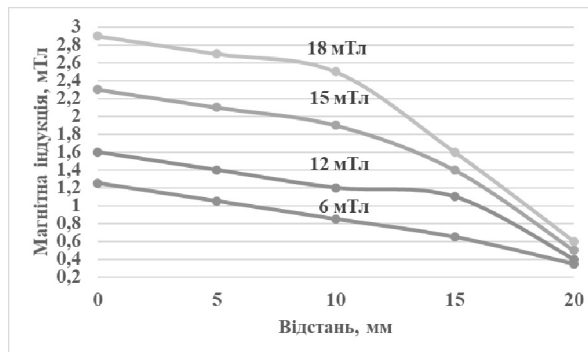


(б)

Рис. 4.26. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітолазерній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МІТ-11Т» частота 75 Гц



(a)



(б)

Рис. 4.27. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітолазерній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МІТ-11Т» частота 99 Гц

Далі розглянемо вимірювання магнітної індукції виключно на магнітній стороні індуктора.

Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 4.28- 4.35.

Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,4 (2,1); 6,2 (4); 8,1 (5,2); 10,1 (6,1) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктору до 1,3 (0,2); 2,5 (0,3); 3,5 (0,3); 4,2 (0,8) (мТл).

Для частоти $f=25$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,3 (2,3); 6,2 (3,5); 7,7 (4,7); 10 (5,9) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,2 (0,15); 2,7 (0,25); 3,5 (0,3); 4,5 (0,5) (мТл).

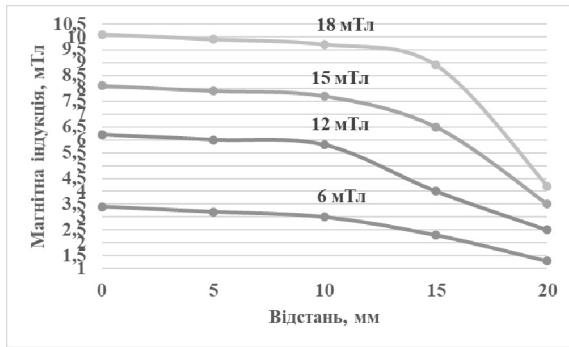
Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3,5 (1,7); 5,9 (2,3); 7,9 (3,5); 9,3 (4,4) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,3 (0,1); 2,3 (0,2); 3,7 (0,3); 4,4 (0,5) (мТл).

Для частоти $f=50$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 3 (1,65); 5,5 (2,3); 7,9 (3,7); 9 (4,5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1 (0,1); 2,2 (0,2); 3,3 (0,25); 4 (0,4) (мТл).

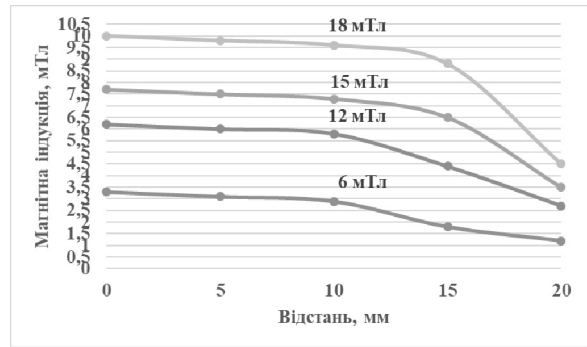
Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,8 (1,2); 5,9 (1,4); 7,8 (2,4); 8,8 (3,3) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1 (0,1); 2,4 (0,2); 3 (0,2); 4,3 (0,2) (мТл).

Для частоти $f=75$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,8 (1,15); 5,4 (1,5); 6,9 (2,4); 8,4 (2,9) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1 (0,1); 2 (0,2); 3,1 (0,2); 3,5 (0,2) (мТл).

Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на червоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,9 (1); 5,3 (1,2); 6,9 (2); 8,1 (2,5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,1); 2 (0,2); 3,2 (0,2); 3,7 (0,2) (мТл). Для частоти $f=99$ Гц значення постійної (змінної) складових МП на інфрачервоному індукторі для режимів роботи 6, 12, 15, 18 (мТл) складає 2,9 (1,05); 5,4 (1,1); 6,9 (1,8); 8,4 (2,5) (мТл) та зменшується на відстані 20 мм від центра індуктора до 1,1 (0,1); 2 (0,15); 3,1 (0,2); 3,6 (0,2) (мТл).

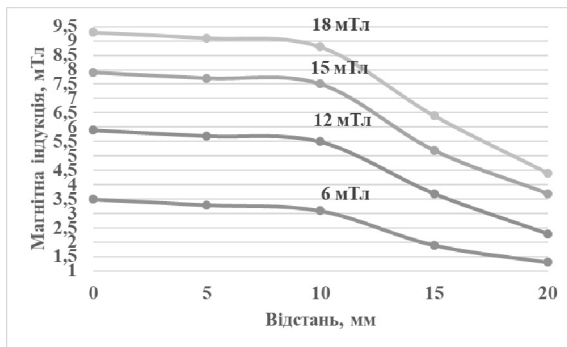


(a)

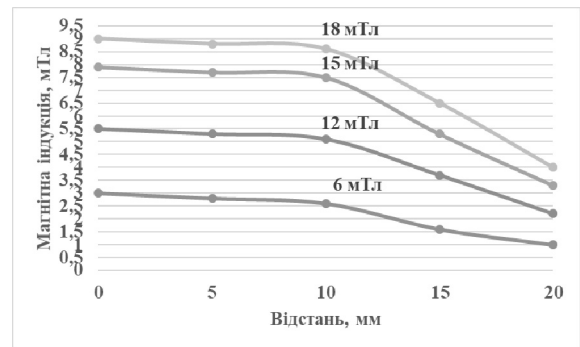


(б)

Рис. 4.28. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 25 Гц

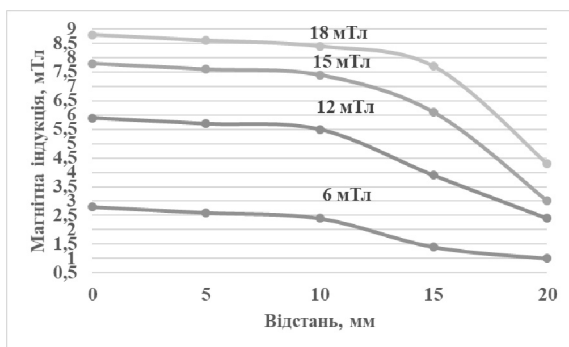


(a)

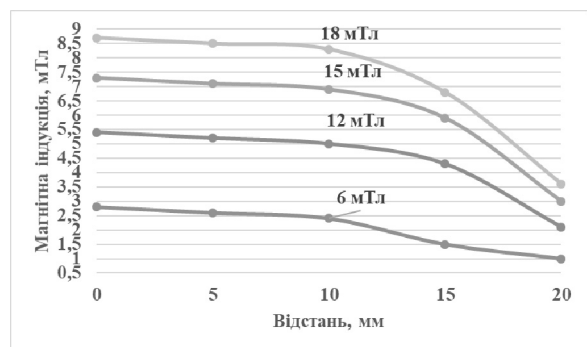


(б)

Рис. 4.29. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 50 Гц

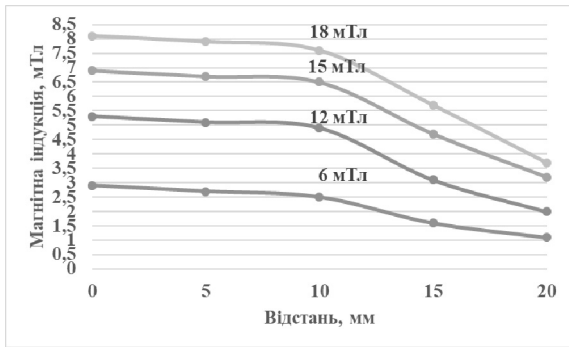


(a)

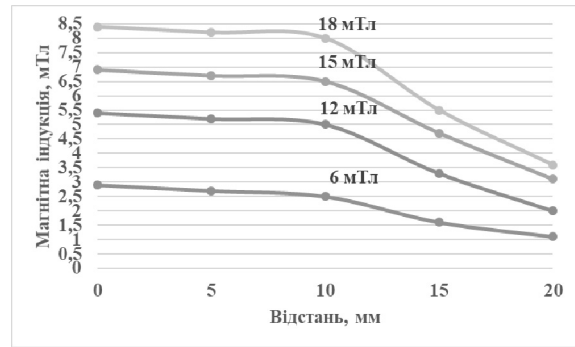


(б)

Рис. 4.30. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 75 Гц

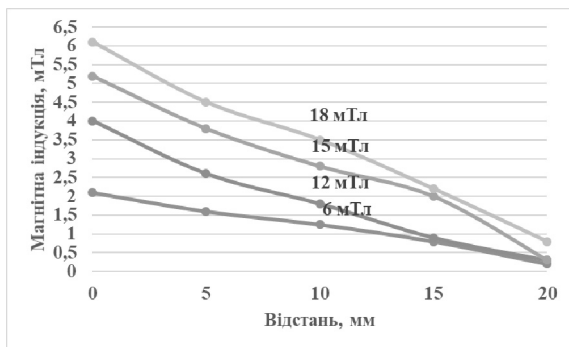


(a)

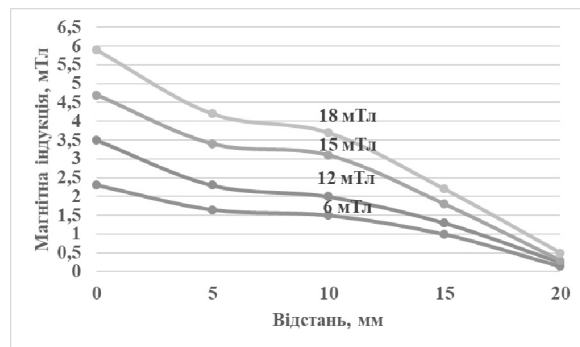


(б)

Рис. 4.31. Вимірювання магнітної індукції ПМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 99 Гц

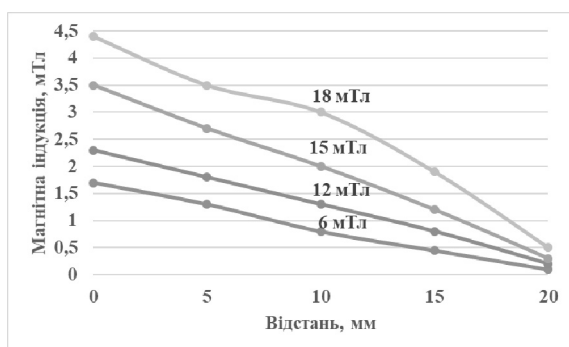


(a)

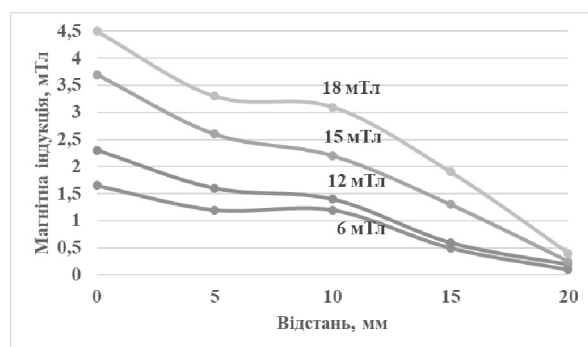


(б)

Рис. 4.32. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 25 Гц

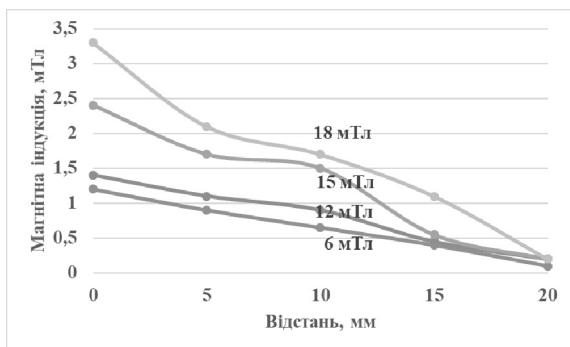


(a)

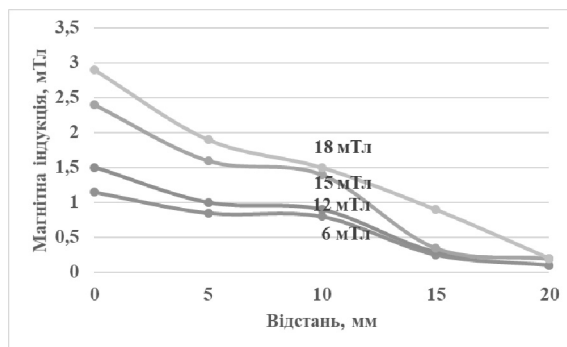


(б)

Рис. 4.33. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 50 Гц

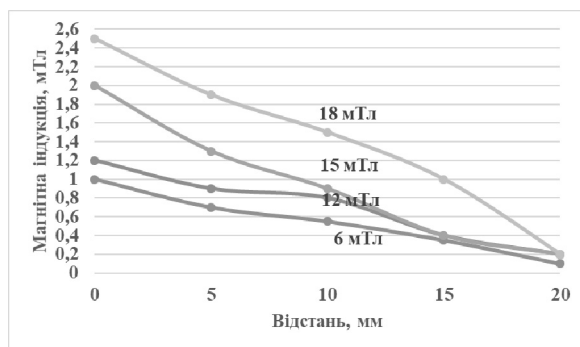


(a)

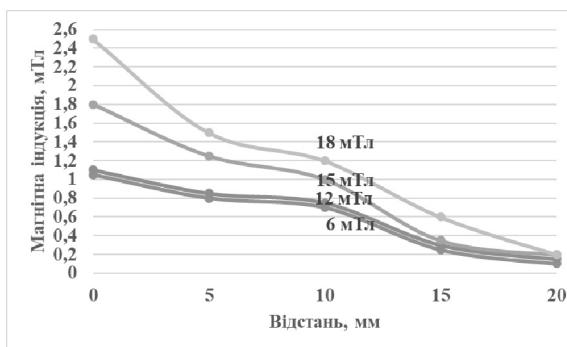


(б)

Рис. 4.34. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 75 Гц



(a)



(б)

Рис. 4.35. Вимірювання магнітної індукції ЗМП на магнітній стороні червоного (а) та інфрачервоного (б) індукторів апарату «МПТ-11Т» частота 99 Гц

Основні результати проведених на апараті «МПТ-11Т» експериментальних досліджень [148-151] показали, що чим більше встановлений на апараті режим роботи, тим більше фактичне значення магнітної індукції на індукторі, магнітна індукція зменшується зі збільшенням частоти і відстані від центра індуктора, магнітна індукція більш суттєво збільшується, починаючи з відстані 1,5 см від центра індуктора. Проведені дослідження дають підстави стверджувати, що суттєвого зменшення магнітної індукції у порівнянні з промислово - серійним апаратом «МПТ-11» не спостерігається. Сумарне значення магнітної індукції, що складається з постійної

і змінної складових, знаходиться на рівні, достатньому для досягнення лікувального ефекту.

Апарат для магнітотерапії комбінований «МІТ-МТ» (рис. 4.36) призначений для лікування у стаціонарі лікарень пацієнтів низькочастотним МП з використанням оптичного потоку червоного та інфрачервоного діапазонів спектру.



Рис. 4.36. Стаціонарний апарат для магнітотерапії комбінований «МІТ-МТ»

Основні технічні характеристики: магнітна індукція 6, 12, 15, 18 мТл, магнітна індукція на поверхні матрацу на кожній з 4-х проекцій котушки: 0,2 мТл; 0,4 мТл; 0,6 мТл; 0,8 мТл; 1 мТл; частота МП та оптичного потоку 0,1 – 99 Гц, потужність оптичного потоку червоного діапазону спектра від п'яти світлодіодів (довжина хвилі 630 нм) при установленому значенні магнітної індукції 18 мТл 5х(12х2) мВт; потужність оптичного потоку інфрачервоного діапазону спектра від п'яти світлодіодів (довжина хвилі 850 нм) при установленому значенні магнітної індукції 18 мТл 5х(30х5) мВт; таймер (тривалість процедури) від 1 до 29 хвилин, маса апарату в комплекті поставки не більше 10 кг. Показання для застосування: захворювання та ушкодження периферичної нервової системи, хронічні захворювання внутрішніх органів, запальовальні захворювання, стоматологія, кардіологія, ортопедія, закриті переломи кісток, захворювання судин кінцівок, забої м'язів,

суглобів, кісток, розтяги зв'язок, трофічні виразки, екземи, нейродерміти, захворювання периферичних судин кінцівок, гіпертонічна хвороба I та II стадії.

НМЦ «Медінтех» розроблений **портативний** та з іншими технічними характеристиками, у порівнянні з розглянутим вище апаратом «МІТ-МТ», апарат для магнітотерапії комбінований «МІТ-МТ» (рис. 4.37), який призначений для лікування пацієнтів НМП з використанням оптичного потоку червоного та інфрачервоного (синього) діапазонів спектру.



Рис. 4.37. Портативний апарат для магнітоквантової терапії «МІТ-МТ»

Технічні характеристики: максимальне значення магнітної індукції на поверхні індуктора 30 ± 5 мТл, сумарна потужність оптичного потоку червоного діапазону спектра від п'яти світлодіодів (довжина хвилі 630 нм) - 40 ± 10 мВт, сумарна потужність оптичного потоку інфрачервоного діапазону спектра від п'яти світлодіодів (довжина хвилі 850 нм) - 100 ± 20 мВт, сумарна потужність оптичного потоку синього діапазону спектра від п'яти світлодіодів (довжина хвилі 470 нм) - 20 ± 20 мВт, частота модуляції магнітного поля та оптичного потоку 0 – 99 Гц, тривалість процедури (таймер) 1 – 99 хв, маса апарату в комплекті поставки не більше 5 кг. Показання для

200

застосування: захворювання нервової, імунної та ендокринної системи, запалювальні процеси, больовий синдром.

НМЦ «Медінтех» розроблений багатоцільовий апарат для фізіотерапії «WIT-MT» (рис. 4.38), що призначений для лікування пацієнтів НМП, лазерним випромінюванням та оптичним потоком червоного, інфрачервоного та синього спектрів. Основні технічні характеристики: максимальне значення магнітної індукції на поверхні індуктору - 25 ± 5 мТл, максимальне значення магнітної індукції на поверхні матрацу - $1 \pm 0,1$ мТл, ПМП у взаємодії з лазерним випромінюванням для надвенного омагнічування крові - 310 ± 10 мТл, частота модуляції 0-99 Гц, максимальна потужність магнітного індуктору червоного діапазону спектру - 50 ± 10 мВт, максимальна потужність магнітного індуктору інфрачервоного діапазону спектру - 90 ± 18 мВт, максимальна потужність магнітного індуктору синього діапазону спектру - 25 ± 5 мВт, максимальна потужність лазерного випромінювача червоного діапазону спектру (630 нм) - 50 ± 10 мВт, максимальна потужність лазерного випромінювача інфрачервоного діапазону спектру (850 нм) - 80 ± 16 мВт, максимальна потужність лазерного випромінювача надшкіряного опромінення крові червоного діапазону спектру (630 нм) - 25 ± 5 мВт, тривалість процедури (таймер) 1- 99 хв., маса апарату в комплекті поставки не більше 6,5 кг. Показання для застосування: захворювання нервової, імунної та ендокринної системи, запалювальні процеси, больовий синдром.

Апарат для МЛТ нижніх кінцівок «MIT-MT2» (рис. 4.39) розроблений НМЦ «Медичні іноваційні технології» та призначений для лікування НМП, оптичним потоком червоного та інфрачервоного діапазону спектру пацієнтів. Основні технічні характеристики: магнітна індукція 7 ± 1 мТл, частота 0-99 Гц, максимальна потужність червоного діапазону спектру від одного випромінювача 45 ± 10 мВт, максимальна потужність інфрачервоного діапазону спектру від одного випромінювача 45 ± 10 мВт, тривалість процедури (таймер) 1-99 хв, маса апарату в комплекті поставки не більше 15 кг.

Показання: для лікування ангіопатій, нейропатій, артритів, артрозів, варикозного розширення судин, больових синдромів та травм нижніх кінцівок.



Рис. 4.38. Багатоцільовий апарат для фізіотерапії «WIT-MT»

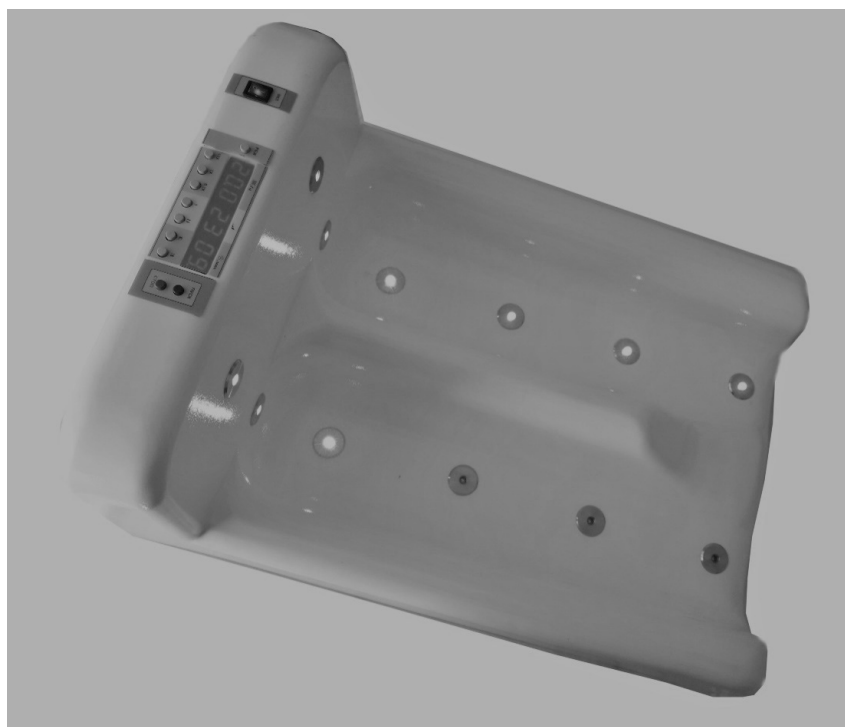


Рис. 4.39 Апарат для МЛТ «MIT-MT2»

Представлено МТА, розроблені НМЦ «Медінтех»: комбінованої дії «MIT-11», «MIT-11 фізіо», стаціонарний апарат для магнітотерапії комбі-

нований «МІТ-МТ», портативний апарат для магнітоквантової терапії «МІТ-МТ», апарат для магнітолазерної терапії «МІТ-МТ2», багатоцільовий апарат для фізіотерапії «WІТ-МТ». Розроблено експериментальний зразок апарату магнітотерапії зі ЗЗ «МІТ-11Т». Проведено експериментальні дослідження фактичного значення магнітної індукції на поверхнях магнітної та магнітолазерної сторін індукторів апарату для фізіотерапії комбінованого «МІТ-11Т». Результати вимірювань порівнювались з промислово - серійним апаратом «МІТ-11» та довели працездатність апарату для магнітотерапії «МІТ-11Т».

4.2. Апарати магнітотерапії «МІТ» спеціалізованих напрямів

4.2.1. Апарат для вакуум-магнітотерапії «МВТ-01»

Апарат для вакуумного масажу «МВТ-01» (Медінтех) (рис. 4.40) призначений для виконання вакуумного масажу і роликової вакуум-магнітотерапії за рахунок формування локального розрідження в спеціальних насадках та дії ПМП до 20 мТл. Створюється розрідження в насадці - 0,8 атм.



Рис. 4.40. Апарат вакуумного масажу з постійними магнітами «МВТ-01»

4.2.2. Апарат для мікрострумової і фотоактивації «МВТ-01 МТФ»

Апарат для мікрострумової і фотоактивації «МВТ-01 МТФ» призначений для трансдермального введення іонізованих препаратів за допомогою електричних імпульсів малої або низької напруги (сила струму на електродах 0,2-1,0 мА при значенні напруги електричного струму на електродах 12,6-22,6 В) в ПМП (постійна магнітна індукція - 75 мТл) з додатковою поліхроматичною фотостимуляцією (червоного, синього і зеленого відтінку) біохімічних процесів усередині шкіри.



Рис. 4.41. Апарат мікрострумової і фотоактивації «МВТ-01 МТФ»

4.2.3. Апарат низькочастотної магнітотерапії «МІТ-МТБВ»

Апарат для магнітотерапії «МІТ-МТБВ» призначений для лікування хворих малим НМП (максимальне значення магнітної індукції - $(4 \pm 0,5)$ мТл) з використанням оптичного потоку червоного діапазону спектра (максимальна потужність оптичного потоку червоного діапазону спектра від одного випромінювача - (20 ± 5) мВт) рухомого магнітолазерного впливу.

В апараті реалізовані режими «прямий», «зворотній» та «рухомої хвилі» (рис. 4.42).

Рухоме ІМП прискорює обмінні процеси, має знеболюючу, протизапальну та протинабрякову дію, впливає на біологічно активні точки організму, сприяє самовідновленню організму, виконує магнітолазерний лімфодренаж.

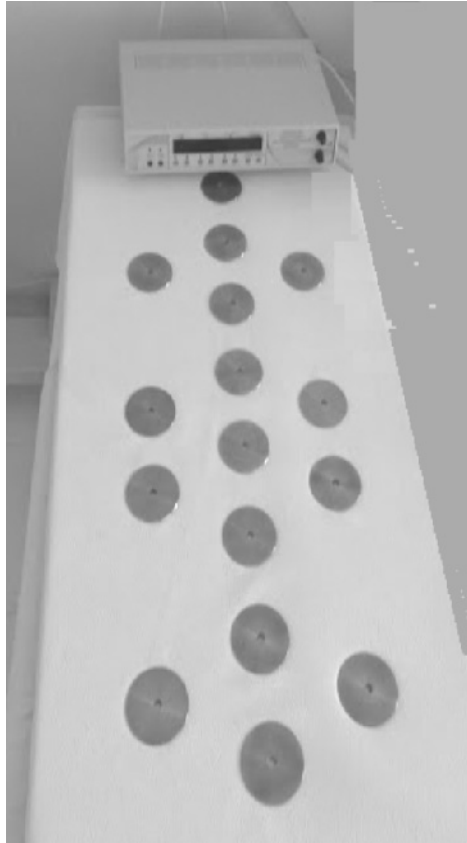


Рис. 4.42. Апарат низькочастотної магнітотерапії «МІТ-МТБВ»

4.2.4. Апарат для гідролазерного вакуумного масажу намагніченою водою «СВД-01»

Апарат для гідролазерного вакуумного масажу «СВД-01» призначений для виконання гідролазерного масажу з використанням намагніченого водного струменя і лазерного випромінювання червоного (0,63-0,67 мкм) діапазону спектру.

Особливість запропонованого нами принципу впливу полягає в тому, що використовуючи спеціальну насадку, при її контакті з шкірою в зоні впливу створюється вакуумне розрядження - це сприяє розкриттю і очищенню потових залоз, підвищенню кровонаповнення судин і легкому масажу водним струменем рефлекторної зони. Додатково, по зовнішньому кільцю насадки, створюється струменевий масаж з використанням структурованої намагніченої води. На чисту поверхню шкіри виконується вплив лазерним потоком.



Рис. 4.43. Апарат для гідролазерного вакуумного масажу намагніченою водою «СВД-01»

4.2.5. Вихрова ванночка для ніг «Купава»

Вихрова гідрофотомагнітна ванна для ніг «Купава» (робочий об'єм ванни 60 л) забезпечує виконання масажу литкових м'язів і ступенів ніг вихровим водним потоком, впливом оптичним випромінюванням червоного кольору (потужність потоку оптичного випромінювання червоного діапазону спектра одного фотоактиватора 100 мВт та довжина хвиль випромінювання фотоактиватора 627 нм) і ПМП (кількість постійних магнітів 2 шт зі значенням індукція МП постійного магніта 35 мТл).

Вихровий потік формується за рахунок круглої форми ванни і спеціальних напрямлених форсунок, розташованих з боків ванни. Основу дії вихрової ванни складає поєднання гідромеханічних, температурних, оптичних і магнітних подразників (рис. 4.44). При використанні мінеральної води до них приєднуються хімічні подразники, зумовлені складною гамою різних мінеральних солей, газів і мікроелементів. Вихрові гідрофотомагнітні ванни можуть використовуватися в різного роду лікувальних установах, санаторно-курортних умовах, оздоровчих центрах і домашніх умовах.



Рис. 4.44. Вихрова ванночка для ніг «Купава»

4.2.6. Активатор рідини «МІТ-АСЯ»

Активатор рідини «МІТ-АСЯ» призначений для активації напоїв, води, кремів, масел та інших складових інгредієнтів перед їх застосуванням.

Активатор рідини «МІТ-АСЯ» (рис. 4.45) забезпечує спільний вплив ІМП, електромагнітними хвилями, які створюються кластерної антеною і оптичним потоком об'єднаного червоного і синього спектру.

ІМП створюється біфілярною котушкою «Біфіляр Тесла» на двох частотах - 50 і 150 кГц, що перемикаються між собою на підвищеній частоті Шумана - 8,5 Гц. Додатково МП структурується кристалічними ґратами кремнію.



Рис.4.45. Активатор рідини «МІТ-АСЯ»

4.2.7. Апарат для догляду за шкірою обличчя «ЕЛІОФОР»

Апарат для догляду за шкірою обличчя «ЕЛІОФОР» призначений для проведення комплексних косметологічних програм догляду за шкірою обличчя, шиї та зони декольте з естетичною метою в домашніх умовах і в умовах косметологічного кабінету.

Апарат «ЕЛІОФОР» (рис. 4.46) забезпечує трансдермальне введення (електропорації) косметичних засобів коротким імпульсним струмом низької частоти.

Апарат забезпечує плавне регулювання вихідних параметрів, що впливають на чутливість до сприйняття імпульсного струму. Напруга вихідного імпульсу регулюється в діапазоні від 6 В до 20 В.

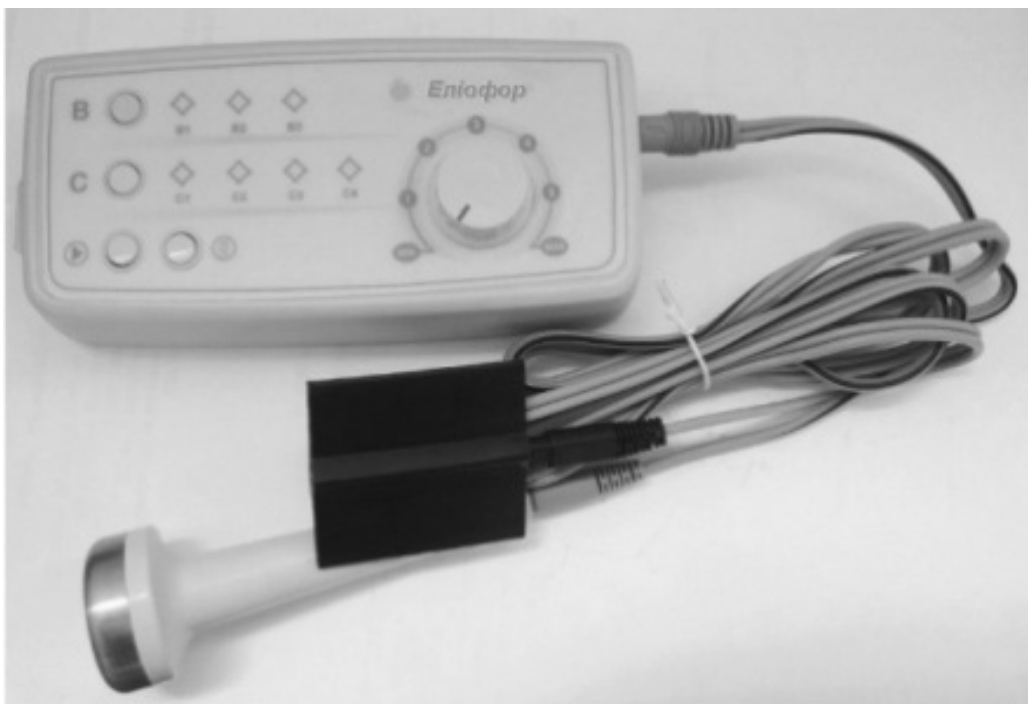


Рис. 4.46. Апарат для догляду за шкірою обличчя «ЕЛІОФОР»

Значення постійного магнітного поля на поверхні електрода для роботи по лабільною методикою - не менше 50 мТл.

РОЗДІЛ V. МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ ПОЄДНАНОЇ ТА КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ

5.1. Магнітолазерні апарати

Апарат «Люзар МП» - малогабаритний апарат для МЛТ (рис. 5.1). В апараті використовують два лазерних джерела, що генерують випромінювання червоної області спектру ($\lambda=670\pm 20\text{нм}$) і інфрачервоне випромінювання ($\lambda=780\pm 20\text{нм}$), що працюють в неперервному режимі. Потужність лазерного випромінювання регулюється в діапазоні (0–15) мВт для червоної області спектру та (0-25) мВт для інфрачервоної області спектру. Апарат оснащується спеціальною насадкою, що формує ПМП з індукцією до 100 мТл.



Рис. 5.1. Апарат МЛТ «Люзар МП»

Апарат магнітолазерний терапевтичний «Родник-1» (рис. 5.2) представляє собою багатоканальний апарат, генеруючий низькоінтенсивне лазерне випромінювання червоної та інфрачервоної області спектру, а також світлодіодне випромінювання синьої області спектру. В апараті передбачена можливість використання окремої від'ємної магнітної насадки, що генерує ПМП індукцією 50-70 мТл. Потужність випромінювання в синьому діапазоні спектру досягає 10 мВт, в червоному до 25 мВт, в інфрачервоному

30 мВт (неперервний режим). Довжини хвиль: 450 ± 30 нм (синя область спектру), 670 ± 20 нм (червона область спектру), 780 ± 20 та 890 ± 20 нм (інфра-червона область спектру)



Рис. 5.2. Апарат МЛТ «Родник-1»

Апарат МЛТ «Снаг СЭНС К» (рис. 5.3) характеризується підвищеною потужністю лазерного випромінювання. В апараті в якості джерела лазерного випромінювання використовується червоний напівпровідниковий лазер, при цьому максимальна потужність випромінювання складає 300 мВт. Це дає можливість використовувати апарат для проведення фотодинамічної терапії. В апараті є джерело ПМП потужністю до 20 мТл.



Рис. 5.3. Апарат «Снаг-СЭНС К»

Апарат фізіорефлексотерапевтичний «Рефтон 01-ФЛС» (рис. 5.4) є фізіотерапевтичним комбайном. Апарат можна використовувати для

проведення електротерапії гальванічним струмом і імпульсними струмами низької частоти, а також лазерної терапії. Апарат комплектується магнітною насадкою, що створює ПМП інтенсивністю до 35 мТл, що використовується одночасно з лазерним джерелом.



Рис. 5.4. Апарат багатофункціональний «Рефтон»

5.2. Апарати фотомагнітотерапії

Портативний фізіотерапевтичний апарат кольорової- і світлотерапії «Геска-Полицвет-Маг» (з магнітною насадкою) (рис. 5.5) є новим медичним апаратом серії «Геска», що створений на базі світлодіодних джерел, які створюють випромінювання різної довжини хвиль: інфрачервоне - 895 ± 55 нм, червоне - 660 ± 15 нм, помаранчеве - 610 ± 15 нм, жовте - 590 ± 15 нм, зелене - 565 ± 15 нм, синє - 430 ± 30 нм (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Апарат «Геска-Полицвет-Маг»

Апарат низькочастотної магнітосвітлотерапії «МСТ-01 Мастер» генерує ЗМП (частота - 50 Гц, магнітна індукція - 30 мТл, довжина світлової хвилі: помаранчевої - 595–616 нм, синьої – 470-485 нм) (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Апарат низькочастотної магнітосвітлотерапії «МСТ-01 «Мастер»

Поєднання ІМП і оптичного поляризованого випромінювання видимого та інфрачервоного діапазонів забезпечує апарат імпульсної ФМТ «ФотоСПОК» (рис. 5.7) (ТДВ «Магномед», Білорусія). Апарат створює складномодульоване ІМП спеціальної форми частотою від 40 до 160 Гц, частотою модуляції 10 Гц та індукцією МП від 15 до 25 мТл в поєднанні з синім (460-480 нм, 1,5 мВт), зеленим (510-500 нм; 1,0 мВт), жовтим (580-600 нм; 1,0 мВт), червоним (620-680 нм; 2 мВт), інфрачервоним (920-960 нм; 4,5 мВт) випромінюванням. Можливо також використовувати комбінації випромінювань: червоне + інфрачервоне, синє + червоне. Густина потоку потужності випромінювання коливається від 0,6 до 3,5 мВт/см² в залежності від обраної довжини хвилі.



Рис. 5.7. Апарат імпульсної ФМТ «ФотоСПОК»

Апаратно-програмний комплекс «Андро-Гин» (рис. 5.8) (ЗАТ «Яніні-вест», Росія) поєднує в собі одночасно декілька методів фізіотерапевтичного впливу: полосна електростимуляція, черезшкірна електронейростимуляція, лазеро- і світлотерапія, магнітотерапія, кольороритмотерапія. Апарат призначений для застосування в урології для лікування хронічних запальних захворювань передміхурової залози, сем'яних бульбашок, уретри, при нетриманні сечі і нейрогенному сечовому міхурі. Ефективно використання комплексу і в гінекології: лікування хронічних неспецифічних запальних захворювань органів малого тазу, безпліддя. В комплект апарату входять: випромінювач магнітолазерний внутрішньопорожнинний з електростимуляцією; уретральний опромінювач лазерної терапії і електростимуляції; нашкірний магнітно-лазерний випромінювач; нашкірний нейро-стимулятор; окуляри кольороритмотерапії; програмне забезпечення.



Рис. 5.8. Апаратно-програмний комплекс «Андро-Гин»

Основні технічні характеристики апарату: амплітуда струму електростимуляції в імпульсі - 0-100 мА; діапазон тривалості імпульсів і пауз електростимуляції - 1-10 с; модуляція імпульсів за частотою - 10-120 Гц; довжина хвилі випромінювання напівпровідникового лазерного - 0,85 мкм, світлодіодного - 0,95 мкм; сумарна потужність напівпровідникового лазерного і світлодіодного випромінювань - не менше 7 мВт. Магнітна індукція

ПМП в випромінювачі внутрішньопорожнинному - не менше 15 мТл, в випромінювачі наскірному - не менше 40 мТл. Для проведення кольоро-ритмотерапії використовуються червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, синій кольори; модуляція за частотою випромінювання світлодіодів 2-32 Гц.

Для розширення функціональних можливостей апаратів поліхроматичної терапії (АПТ) в косметології та фізіотерапії з забезпеченням ефективності процедур за рахунок комбінованої дії світла, ультразвуку, МП на БТ зі зміною інтенсивності та довжин хвиль поліхроматичного опромінення. На рис. 5.9 приведено структурно- функціональну схему індукторів такого АПТ «МПТ-11ПХ» [179], де 1 - високочастотний генератор електричних сигналів, 2 - імпульсний модулятор, 3 - аттенюатор, 4 - електроди, 5 – п'єзо-кристалічна пластина, 6 - підкладка, 7 - компаунд, 8 - терапевтичний перетворювач, 9 - робоча поверхня терапевтичного перетворювача, 10 - постійні магніти, 11 - поліхроматичний перетворювач, 12 - матриця світлодіодна RGB CMD, 13 - драйвер світлодіодний, 14 - підкладка, 15 - перемикач на три положення, 16 - кришка, 17 - ручка-корпус, 18 - контролер, 19 - мідна котушка.

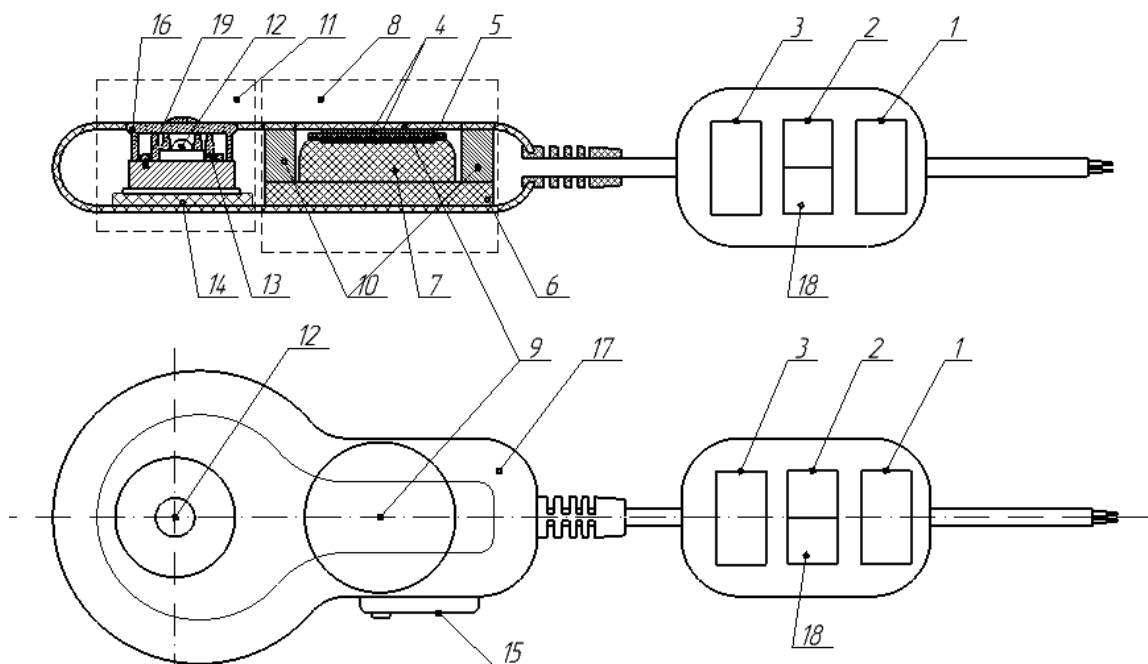


Рис. 5.9. Структурно-функціональна схема індукторів АПТ «МПТ-11ПХ»

АПТ складається з високочастотного генератора електричних сигналів 1 для живлення як терапевтичного перетворювача 8, так і для подачі сигналів на світлодіодну матрицю RGB 12, і з'єднаного з низькочастотним імпульсним модулятором 2 та атенюатор 3, який зв'язаний з електродами 4, що розташовані по обидва боки п'єзокристалічної пластини 5.

Жорстке закріплення п'єзокристалічної пластини 5 на робочій захисній підкладці 6 і заповнення простору міжзворотною неробочою стороною п'єзокристалічною пластиною 5 акустично-поглинаючим аморфним компаундом 7. Терапевтичним перетворювачем 8 створюється на п'єзопластині 5 акустичний сигнал зі складною просторовою топологією у вигляді інтерференційної картини з індукцією ПМП, постійних магнітів 10.

При контакті з робочої поверхні 9 терапевтичного перетворювача 8 із зонами поверхні тіла людини відбувається передача енергії ультразвукових коливань та ПМП. До цих двох факторів додається дія світлового поліхроматичного випромінювання.

Поліхроматичний перетворювач 11 виконаний в вигляді драйвера світлодіодного 13 з матрицею на RGB-діодах 12, виготовленою з можливістю контакту із зонами поверхні тіла людини, а атенюатор 3 з'єднаний з драйвером 13 через повзунковий перемикач 15 на три положення свічення - червоним, зеленим та синійсвітлом, причому за допомогою високочастотного генератора 1 та імпульсного модулятора 2 регулюються частоти та сила світла, а поліхроматичний перетворювач 11 розміщений в ергономічній ручці-корпусі 17.

Матриця RGB CMD 12 із світлодіодів закріплена за допомогою драйвера світлодіодного 13 та кришки 16. Підкладка 14 тримає цю конструкцію. Навколо матриці 12 та драйвера світлодіодного 13 знаходиться мідна котушка 19. Повзунковий перемикач на три положення 15 розміщений на ергономічній ручці-корпусі.

АПТ «МІТ-11 ПХ» працює наступним чином.

Високочастотний генератор електричних сигналів 1 виробляє електричний сигнал певної частоти в діапазоні від 10 кГц до 10 МГц. Високочастотний електричний сигнал із виходу генератора 1 надходить на вхід керуваного двоканального імпульсного модулятора 2.

Керування імпульсним модулятором 2 виконується контролером, за допомогою якого формують низькочастотний керуючий сигнал по першому каналу у вигляді послідовності імпульсів на терапевтичний перетворювач 8, а по другому каналу - високочастотний сигнал на поліхроматичний перетворювач 11.

Модульований високочастотний електричний сигнал із виходу імпульсного модулятора 2 надходить через атенуатор 3, який має можливість змінювати амплітуду електричного сигналу, на матрицю RGB діодів 12, що розташована по центру корпусу, та закріплений за допомогою кришки 16 та драйвера світлодіодного 13. Внаслідок цього виникає поліхроматичне світлове випромінювання. За допомогою 3-позиційного перемикача регулюють довжину хвилі та колір світла червоний, зелений або синій, а за допомогою контролера можна задати частоту та інтенсивність випромінювання.

Навколо матриці з діодів 12 знаходиться котушка-магніт 19. За рахунок жорсткого закріплення діодів за допомогою підкладки 14 діоди щільно закріплені у корпусі. На діодну матрицю 12 встановлено драйвер 13. Навколо матриці та драйвера світлодіодного знаходиться мідна котушка 19, яка працює як змінний магніт.

Так одночасна дія ЗМП та поліхроматичного світлового потоку значно розширює функціональні можливості апарата та підвищує ефективність сумарної дії цих факторів на БТ.

5.3. Апарат фотомагнітобаротерапії

Для використання в андрології ТДВ «Магномед» розроблений апарат «АндроСПОК» (рис. 5.10), що призначений для проведення впливу змін-

ним НМП, оптичним поляризованим випромінюванням видимого і інфрачервоного діапазонів і баротерапією. Конструктивно апарат складається з мережевого блоку живлення, електронного вакуум-циліндра і вакуумної помпи. В циліндрі розташовані індуктор МП і силіконова насадка. В нижній частині циліндра знаходяться електронний блок керування, світлодіодні випромінювачі червоного і інфрачервоного діапазонів. Магнітна індукція складає 5 ± 2 мТл, розрядження, створюване в вакуум-циліндрі, досягає 10 ± 2 кПа. Потужність світлодіодного випромінювання складає 2 мВт для червоного і 5 мВт для інфрачервоного діапазонів.



Рис. 5.10. Апарат МФБТ «АндроСПОК»

5.4. Апарати для вібромагнітотерапії

Пристрій-аплікатор «АЛП-01 МАВИТ» забезпечує вплив на передміхурову залозу теплом, ІМП, вібраційним масажем. Аплікатор виготовлений з медичного пластикату та містить усередині електромагніт з рухомою серцевиною. Обмотка електромагніта одночасно є нагрівачим елементом та джерелом МП. Аплікатор має специфічну конфігурацію, адаптовану за формою до анатомічного розташування передміхурової залози і прямої кишки (рис. 5.11). Технічні характеристики апарату: температура поверхні робочої зони аплікатора - від $38,5$ до 42 °С; амплітудне значення магнітної індукції ІМП на поверхні робочої зони аплікатора - від 3 до 30 мТл; частота повторення монополярних імпульсів циклічно змінюється від 20 ± 5 до 100 ± 20 Гц; тривалість циклу - 12 ± 2 с, середня сквапність імпульсів - від 3 до 11; амплітуда вібрації аплікатора - від 0,01 до 0,1 мм.



Рис. 5.11. Пристрій-аплікатор «АЛП-01 МАВИТ»

Для реалізації ВМТ використовується також апарат «**Магнетайзер**», виконаний у виді крісла та забезпечуючий вплив загальною вібрацією (100 Гц) і МП (50-60Гц, 20 мТл). Проведення магнітотерапії забезпечують три індуктора. Існує і переносний варіант апарата (модель **М-Р3**).

Відомий апарат для проведення магнітовібротермотерапії «**Hot Magnier**» (Японія). Апарат забезпечує вплив на організм теплом, низькочастотним ІМП і мікровібрацією. В комплектацію апарату входять електронний блок і стандартний аплікатор. Апарат має 3 режими вібрації, 4 незалежних канала впливу, 4 температурних режими: 35, 43, 50 та 60 °С. Додатково можуть поставлятися аплікатори різних розмірів, а також спеціальні вставки для підвищення інтенсивності МП.

5.5. Апарат для магнітоакустичної терапії

Для локальної магнітоакустичної терапії використовується апарат «**Магофон-01**» (Елацьма, Росія) (рис. 5.12), призначений для впливу РМП та звуком. Апарат є джерелом неоднорідного МП з індукцією 30 ± 9 мТл і широкополосних віброакустичних коливань (0,02-20 кГц).



Рис. 5.12. Апарат «Магафон-01»

5.6. Апарати для електромагнітотерапії

Апарат магніто-ампліпульс-гальванотерапії «Седатон» (рис. 5.13) призначений для одночасного впливу на пацієнта декількома фізичними факторами: МП, синусоїдально-модульованими і гальванічним струмами.



Рис. 5.13. Апарат «Седатон»

«Седатон» забезпечує: окремі режими, поєднані режими (магнітотерапія + ампліпульстерапія, магнітотерапія + гальванотерапія); можливість черезшкірного введення лікувальних засобів. Апарат оснащений електродами, виготовленими зі струмопровідної кремній-органічної резини; пневматичним магнітним індуктором у вигляді гумової груші-присоски; пери-

феричним магнітним індуктором у вигляді плоского диску. Основні технічні характеристики апарату: сила гальванічного струму - до 30 мА; СМС - до 50 мА; несуча частота СМС - 5000 Гц, амплітуда магнітної індукції регулюється в межах 10 ± 5 мТл, 25 ± 5 мТл.

Апарат «АМО-АТОС-Э» (рис. 5.14) дозволяє здійснювати вплив за лобно-сосцевидною методикою ІБМП і електричними імпульсами. Такий вид впливу проводять за допомогою спеціальної приставки «Оголовье». Розглянемо технічні характеристики даного апарату. Характер МП: ЗМП та ПуМП. Діапазон частот модуляції МП: 1-16 Гц. Частота МП соленоїда в випромінювачі: змінний режим 50 Гц, пульсуючий режим 100 Гц. Величина індукції ІБМП на робочій поверхні парного призматичного та круглого випромінювача $33 \pm 3,3$ мТл. Величина індукції ІБМП на робочій поверхні приставки «Оголовье» $43 \pm 4,3$ мТл. Одночасно працюють 2 випромінювача МП. Амплітуда струму: $(0,5-10) \pm 10$ мА. Частота струму $(8-80) \pm 20\%$ Гц. Існує 2 канала фізіотерапії. Кількість рухомих електродів на фіксаторах приставки «Оголовье»: 1 лобний і 2 сосцевидних.



Рис. 5.14. Апарат «Амо Атос Э»

5.7. Апарати для термомагнітотерапії

Апарат ТМТ «АТМТ-01 Фаворит» (рис. 5.15) призначений для проведення поєднаних процедур термотерапії і магнітотерапії. Він дозволяє здійснювати одночасний і послідовний вплив ЗМП і теплового фактора на різноманітні ділянки тіла пацієнта, включаючи і загальний вплив. Конструктивно апарат виконаний у виді корпусного електронного блоку і термомагнітоковдри, де розташовуються спеціальні електромагнітні індуктори і термоелементи, з'єднані з електронним блоком за допомогою гнучкого шнура з роз'ємом. Можливе одночасне і роздільне включення нагрівання і МП. Електронний блок забезпечує підтримку заданого температурного режиму всередині термоковдри і генерування спеціальних імпульсів струму для створення в індукторах МП заданої магнітної індукції, форми і частоти чергування імпульсів. Включення секцій незалежне, що забезпечує можливість як створення «біжучого» вздовж ковдри МП при послідовному вмиканні (скануванні) секцій, так і одночасне вмикання всіх індукторів.



Рис. 5.15. Апарат ТМТ «АТМТ-01М»

Технічні характеристики апарату: амплітудне значення магнітної індукції МП в центрі робочої поверхні індукторів на максимальній потужності сигналу при одночасній роботі всіх індукторів (15 шт.) - не менше 5 мТл; при секційному вмиканні індукторів (по 3 шт.) - не менше 25 мТл; частотний діапазон МП – 10-800 Гц; кількість видів імпульсів струму, що

подаються на магнітні індуктори - 8; температура всередині термоковдри в діапазоні від 20 до 45 °С з кроком 1 °С. Існує новий варіант апарата для термомагнітотерапії «АТМТ-01М» (рис. 5.15), що має додаткові опції, які дозволяють: а) на фоні низькоінтенсивної загальної ТМТ підсилювати дію МП в області патологічного осередка; б) синхронізувати лікувальну дію фізичних факторів з ритмом серцевої діяльності.

5.8. Апарати для гідро магнітотерапії

ТДВ «Магномед» створені апарати серії «АкваСПОК», що випускаються в двох модифікаціях - «АкваСПОК-01» і «АкваСПОК-02» (рис. 5.16).

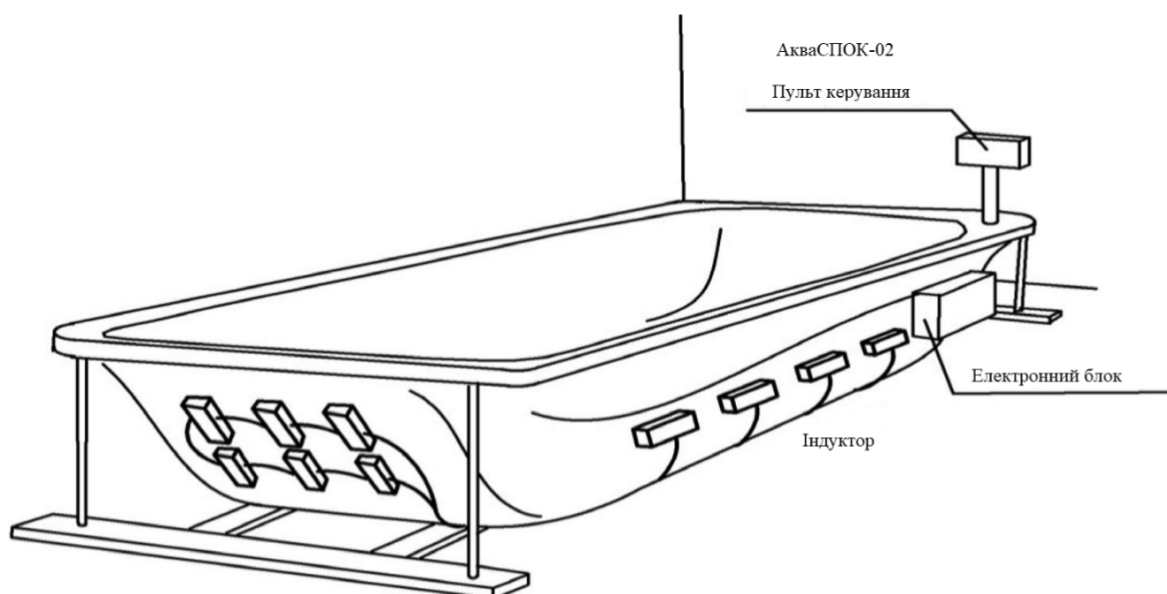


Рис. 5.16. Апарат ГіМТ «АкваСПОК-02»

Конструктивно перший апарат представляє собою набір індукторів, що закріплюються на зовнішній поверхні ванни, виготовленої з немагнітного матеріалу; генератор спеціальних сигналів для індукторів, цифровий індикатор, орган керування, мікропроцесорний контролер і підсилювач потужності сигналу. При цьому плата керування і плата підсилювача потужності розміщені в одному корпусі, а в апараті «АкваСПОК-02» плата керування розташована в виносному пульті. Індуктори виконані у виді

ряду електромагнітних котушок, розташованих в герметичних корпусах і з'єднаних з електронним блоком апарату за допомогою гнучкого кабеля. В апараті передбачена можливість регулювання цілого ряду параметрів: підбір оптимального температурного режиму, а також параметрів низько-частотної імпульсної магнітотерапії (форма імпульсу, частота і потужність впливу, час процедури). Крім того, можливо використовувати різноманітні розчини для магнітного впливу (фітоекстракти, мінеральна вода, розчинені лікарські засоби).

РОЗДІЛ VI. АДАПТИВНІ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ

Створення багатофункціональних МТА набуває актуального значення на сучасному етапі розвитку медичної техніки. Запропоновано нові конструкції фізіотерапевтичних апаратів та міра магнітної індукції [112, 152-159]. Одними з основних вимог до сучасних МТА є формування з високою точністю заданих форм МП, універсальність як у використанні, так і в керуванні режимами роботи. Таким чином, виникає необхідність в нових методах розробки МТА з системою контролю фізіологічних показників людини при впливі на організм МП, що забезпечить надійність і універсальність використання в широкому динамічному та частотному діапазонах МП та оптимізацію біотропних параметрів впливу МП відповідно до аналізу змін фізіологічних показників людини під час сеансу магнітотерапії. На основі порівняльного аналізу сучасного стану розвитку МТА ЗМП, проведеного в першому розділі роботи, нами запропоновано нові принципи побудови МТА зі ЗЗ. В результаті аналізу відомих технічних рішень щодо створення пристроїв магнітотерапії та реалізації ЗЗ в МТА запропоновані наступні конструктивні моделі ЗЗ, на які отримані патенти України на корисну модель [136, 143, 160, 161]:

- вимірювання датчиком температури БТ та її аналіз блоком керування, що дозволить забезпечити контроль за процесом лікування МП, врахувати індивідуальну реакцію організму людини на дію МП та провести оцінку ефективності терапевтичної дії на організм МП;

- корегування біотропних параметрів МП (магнітної індукції) відповідно до фізіологічних показників (температури, пульсу, сатурації) пацієнта, що дозволить організувати лікувальний процес, оптимізований відповідно реакції організму людини на терапевтичний вплив, та досягнути при цьому найбільшого покращення стану пацієнта [162-164];

- адаптивний імпульсний ЗЗ на основі контролю магнітної індукції (датчик Холлу) та аналізу фізіологічних показників (температури, пульсу, АТ, сатурації) людини;

- автоматичне налаштування за допомогою персонального комп'ютера біотропних параметрів автоматизованого апарату магнітотерапії загальної дії відповідно до пульсу, кров'яного тиску, температури, глибини проникнення фармацевтичних препаратів в БТ та магнітної індукції БТ пацієнта [104, 163, 165-169].

Досягнення високої терапевтичної ефективності апаратів магнітотерапії є актуальною проблемою на сучасному етапі розвитку медичного приладобудування. Рішення цієї проблеми полягає в створенні МТА, здатних забезпечити найкращий лікувальний ефект. Важливим етапом та однією з необхідних умов рішення цієї проблеми є кількісна оцінка лікувальної ефективності МТА. Оцінка лікувальної ефективності МТА здійснюється за допомогою вибору спеціального показника - критерію ефективності.

Приведемо узагальнюючу структурну схему МТА зі ЗЗ (рис. 6.1) для розрахунку порівняльної лікувальної ефективності промислових МТА та запропонованих нами МТА зі ЗЗ [160, 170].

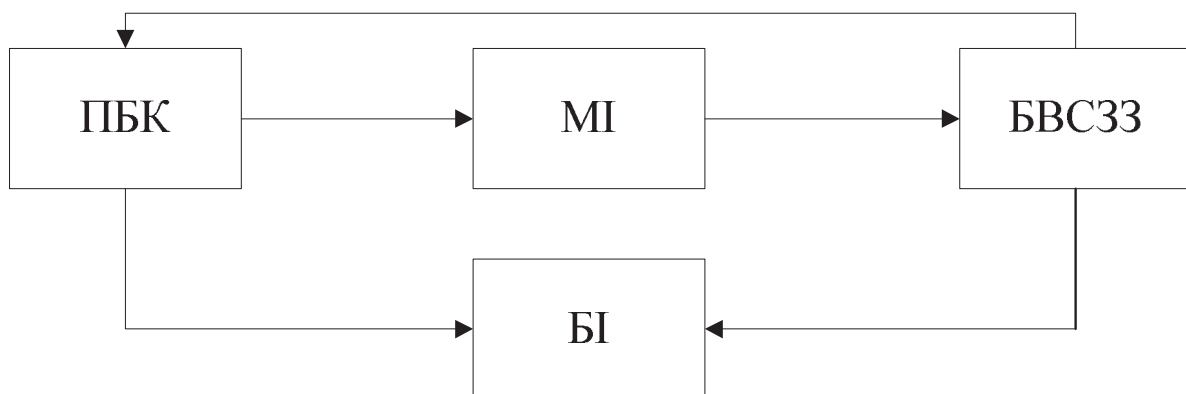


Рис. 6.1. Узагальнююча структурна схема апарату магнітотерапії зі ЗЗ

На схемі можна виділити 4 основні блоки: програмований блок керування (ПБК), магнітний індуктор (МІ), блок вимірювання сигналу ЗЗ (БВСЗЗ), блок індикації (БІ).

Робота апарату відбувається наступним чином.

Крок 1. ПБК встановлює біотропні параметри МП.

Крок 2. МП генерує сигнал МП та здійснює комбінований вплив фізичними полями.

Крок 3. БВСЗЗ вимірює параметри ЗЗ: фізіологічні показники людини та магнітну індукцію пацієнта та апарату магнітотерапії.

Крок 4. ПБК оцінює ефективність лікування за змінами фізіологічних показників, часових залежностей, дихання та магнітної індукції.

Крок 5. ПБК визначає оптимальні біотропні параметри МП під час лікування.

Крок 6. ПБК корегує біотропні параметри МП під час сеансу магнітотерапії.

6.1. Спосіб впливу на організм магнітним полем

Для оцінки ефективності впливу на організм людини МП під час фізіотерапевтичної процедури запропоновано спосіб впливу на організм МП з введеною системою температурного контролю на основі ЗЗ [136].

На рис. 6.2 зображено структурну схему пристрою для реалізації способу впливу на організм людини МП.

Розглянемо роботу пристрою для впливу на організм МП.

Пристрій складається з електродів (ЕС 1 і ЕС 2) для зняття струму, що виникає між ділянками БТ, що пронизуються МП магнітного індуктора (МІ). Електрод (ЕПБО) призначений для задавання загального потенціалу БО. Сигнали зі струмових електродів (ЕС 1 і ЕС 2) поступають на перетворювачі струм – напруга (ПСН 1 і ПСН 2).

Сигнал з ПСН 1 інвертується за допомогою інвертуючого підсилювача (ІП).

На вхід ІП поступають сигнали з ПСН 2 та інвертований сигнал з ПСН 1. Температурний датчик (ТД) вимірює значення температури T_1 до, під час T_2 та по закінченню T_3 терапевтичної процедури [171]. За виміря-

ними значеннями температури оцінюють ефективність дії МП. Сигнали, пропорційні температурам T_1, T_2, T_3 , з температурного датчика поступають на блок керування (БК), де обробляються згідно наступного алгоритму.

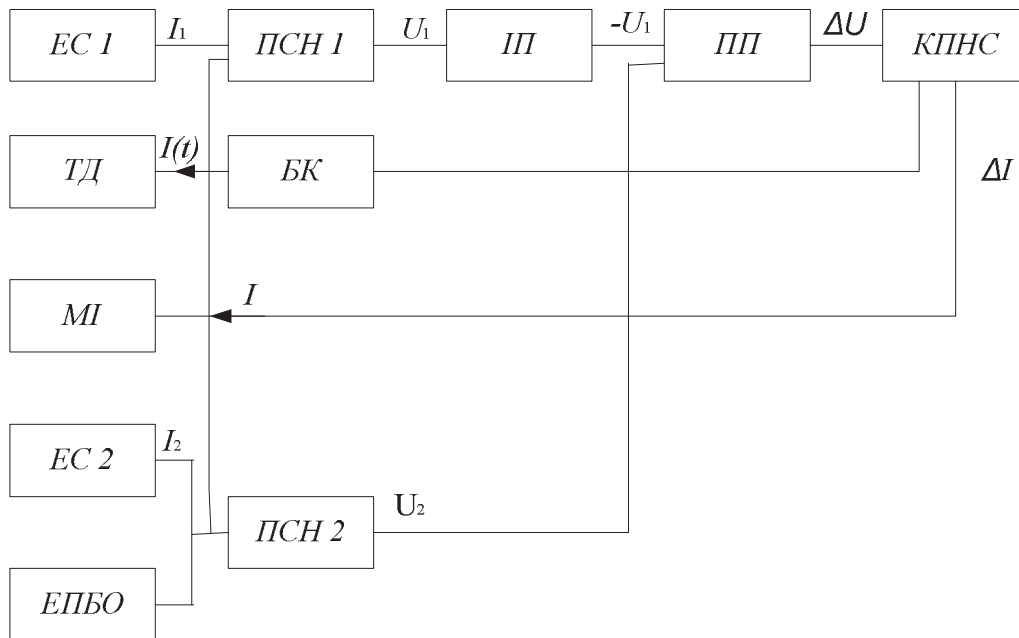


Рис. 6.2. Структурна схема апарату, що реалізує спосіб впливу на організм МП

Крок 1. В блоці керування (БК) кількість вимірів температури T_{2i} ($i = \overline{1, n}$) під час процедури можна змінювати в залежності від стану, статі та віку пацієнта.

Крок 2. Якщо значення температури БТ T_{2i} менше T_{\min} чи перевищує допустимі значення температури T_{\max} , то вимикається пристрій і сигналізується про порушення режимів магнітотерапевтичної процедури.

Потім з виходу підсумовуючого пристрою (ППП) різницевий сигнал (ПСН 1) і (ПСН 2) з електродів (ЕС 1 і ЕС 2) поступає на керований перетворювач напруга-струм (КПНС), який формує сигнал дії для магнітного індуктора (МІ), що створює МП [136]:

$$B(t) = k_B \Delta I, \quad (6.1)$$

де k_B - коефіцієнт індуктора за магнітною індукцією,

ΔI - сила струму в індукторі.

Сигналом ЗЗ в пристрої для реалізації способу впливу на організм МП є контроль температури БТ. Важливо провести моделювання впливу МП на зміну температури БТ. При розробці принципів побудови даного магніто-терапевтичного пристрою емпірично отримана формула (2.56), яка дає можливість змодельовати динаміку зміни температури БТ під час сеансу магнітотерапії.

Запропонований спосіб впливу на організм людини МП у порівнянні зі способом – прототипом [172] має суттєві переваги:

- забезпечує контроль за ходом протікання процесу впливу МП на БТ, що виключає негативні наслідки терапевтичної процедури, а саме: вимірювання температури БТ до, під час та по завершенню терапевтичної процедури, що дає можливість оцінити ефективність процедури магнітотерапії та не допустити перевищення критично допустимого значення температури БТ;

- формує нормовану, точно дозовану дію МП на БТ.

6.2. Адаптивний автоматизований багатofункціональний апарат магнітофонотерапії

Сучасним напрямком розвитку фізіотерапії є використання поєднаної та комбінованої дії фізичних полів на організм людини. МФНТ - поєднаний вплив МП та ультразвуку на БТ. Для її здійснення на ультразвуковий випромінювач насаджують кільцевидний магніт, який є джерелом ПМП (30-50 мТл). Як показують експериментальні дослідження [100, 101, 113], такий поєднаний вплив суттєво підвищує судинну та шкірну проникність, володіє протизапальною та протинабряковою дією, стимулює мікроциркуляцію та загоєння ран. Клінічна апробація МФНТ [100, 101, 113] свідчить про ефективність лікування травм та захворювань суглобів, остеохондрозу хребта з неврологічними проявами.

Запропоновано новий принцип реалізації адаптивного ЗЗ в апараті МФНТ [68, 161, 162], що полягає в корегуванні параметрів впливу МП на БТ на основі аналізу фізіологічних показників людини (температури, пульсу, сатурації). На рис. 6.3 представлено функціональну схему запропонованого апарату МФНТ, в якому удосконалено ЗЗ за рахунок введення пульсоксиметру (ПС) [68, 160, 170].

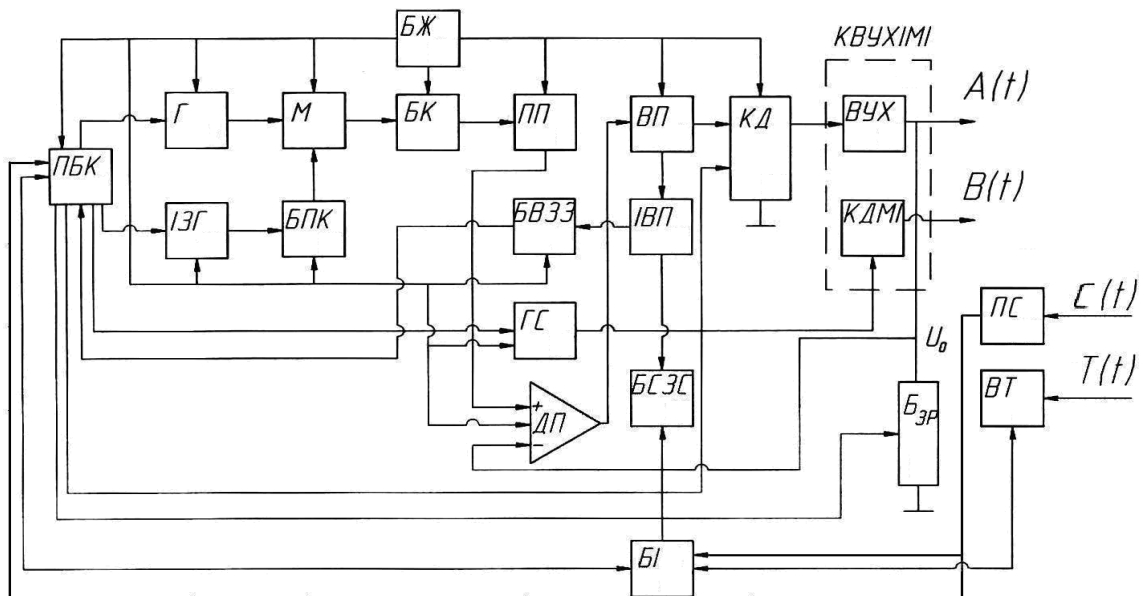


Рис. 6.3. Функціональна схема автоматизованого багатofункціонального апарату магнітофотерапії

Джерелом живлення в МТА є блок живлення (БЖ). Генератор (Г) генерує електричні коливання, які поступають на перший вхід модулятора (М). Одночасно на другий вхід модулятора (М) надходить сигнал з програмованого блоку керування (ПБК) через інфразвуковий генератор (ІЗГ) та буферно-підсилюючий каскад (БПК), який підсилює інфразвукове випромінювання, частота та амплітуда якого близькі до біопотенціалів органів і тканин людини. В модуляторі (М) відбувається амплітудна модуляція високочастотного сигналу низькочастотним з глибиною модуляції 80-95%. Промодульований сигнал надходить через буферний каскад (БК) на підсилювачі: попередній (ПП) та вихідний (ВП), керований резистивний дільник (КД) і формується випромінювачем ультразвукових хвиль (ВУХ) у вигляді

діючих акустичних коливань. Паралельно цьому з програмованого блоку керування (ПБК) поступає імпульс запуску на генератор струму (ГС), який формує сигнал заданої форми і направляє його до керованого джерела магнітної індукції (КДМІ). Конструктивно випромінювач ультразвукових хвиль (ВУХ), кероване джерело магнітної індукції (КДМІ), датчик глибинного вимірювання температури (ДТ) виготовлені у вигляді єдиного керованого циліндричного випромінювача ультразвукових хвиль і магнітної індукції (КВУХІМІ), в центрі якого розташований випромінювач ультразвукових хвиль (ВУХ), охоплений пустотілим соленоїдом.

Робота ланцюга контролю акустичного контакту заснована на контролі зміни сили струму в ланцюзі дільника п'єзовипромінювача та блоку зразкових резисторів ($B_{зр}$). При підвищенні сили струму в цьому ланцюзі збільшується падіння напруги U_0 на зразковому резисторі ($B_{зр}$). Це значення сигналу поступає на інвертований вхід диференційного підсилювача (ДП), що змінює значення вихідного сигналу з диференційного підсилювача (ДП) і, відповідно, вихідного підсилювача (ВП). Змінений сигнал через індикатор вихідної потужності (ІВП) поступає в блок світлової і звукової сигналізації (БСЗС), що, в свою чергу, формує звуковий сигнал і світловий спалах, сигналізуючи про погіршення акустичного контакту з БТ.

На рис. 6.4 представлено схему реалізації ЗЗ в апараті МФНТ. Для контролю та корегування параметрів МП апарат містить блок від'ємного зворотнього зв'язку (БВЗЗ) та ланцюг ЗЗ, реалізований блоком індикації (БІ), з'єднаним з програмованим блоком керування (ПБК), блоком світлової і звукової сигналізації (БСЗС), датчиком вимірювання температури (ДТ) та пульсоксиметром (ПС), що, в свою чергу, з'єднаний з ПБК.

Значення температури, пульсу та сатурації БТ відображаються на БІ. ПБК аналізує фізіологічні показники людини (температуру, пульс, сатурацію), перевіряє їх з гранично допустимими $T_{гр}$, $ПС_{гр}$ і нормальними показниками T_{norm} , $ПС_{norm}$, та коригує відповідно до них параметри впливу МП.

Якщо значення $T_{гр}$, $ПС_{гр}$ перевищене, то БСЗС сигналізує лікарю, що потрібно припинити процедуру МФНТ.

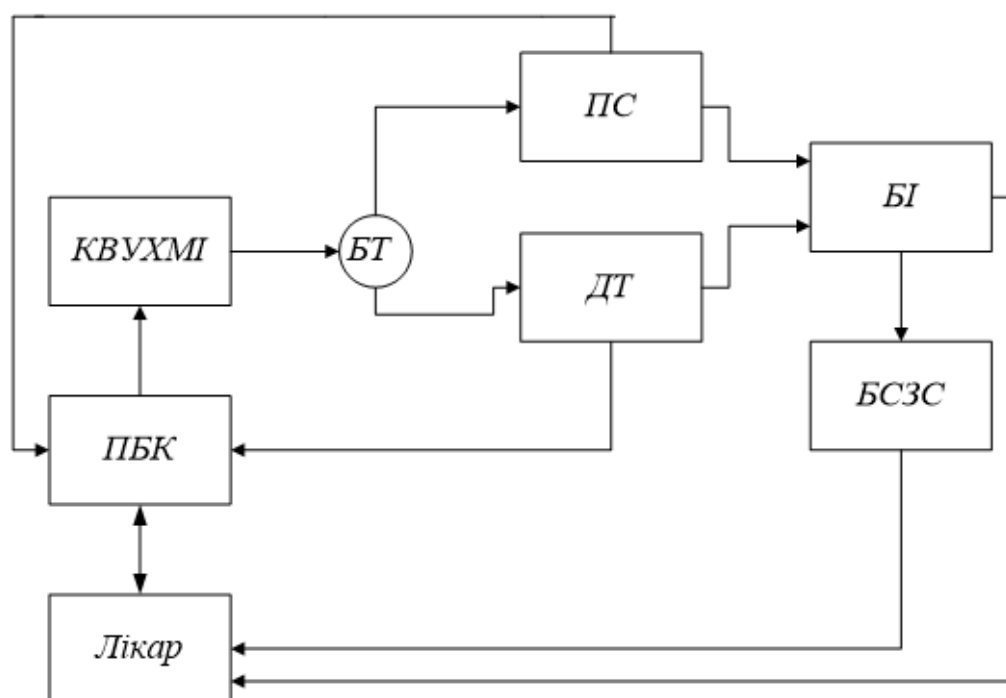


Рис. 6.4. Схема реалізації ланцюга ЗЗ в апараті МФНТ

6.3. Спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії

Для подолання труднощів реалізації ЗЗ в МТА в [27, 173] запропоновано принцип адаптивного керування з застосуванням безперервної оцінки стану пацієнта протягом лікувального сеансу та пошуком оптимальних параметрів впливу на основі одного з методів багатовимірного пошуку. Задача адаптивного керування біотропними параметрами магнітотерапевтичного впливу досягається тим, що перед початком лікування встановлюються початкові значення параметрів електричних сигналів, що визначають початкові параметри магнітотерапевтичного впливу, виходячи з апріорної інформації про захворювання. З бази даних вибираються значення основних функціональних та фізіологічних показників, що характеризують «норму», до якої потрібно прагнути при даному захворюванні для даного пацієнта, враховуючи основні та супутні захворювання. Значення «норми» отримують шляхом набору та усереднення великих масивів статистичної

інформації, отриманої в результаті лікування захворювання, з врахуванням кореляційних зв'язків та фільтрацією «шумових факторів».

Перед початком впливу вимірюються початкові значення функціональних та фізіологічних показників пацієнта. Впродовж кожного сеансу періодично вимірюються та оброблюються дані показники та порівнюються з заданою «нормою», з початковими показниками та з тими, що отримані у попередніх сеансах. Розраховані відхилення вводяться в персональний комп'ютер, відповідно до яких блоком керування МТА змінюються біотропні параметри магнітотерапевтичного впливу на організм людини.

Розглянемо практичну реалізацію адаптивного керування ЗЗ у МТА.

Нами запропонований спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії [143, 144], що полягає у впливі на пацієнта ІМП з використанням біполярних імпульсів МП, що періодично змінюється за амплітудою з магнітною індукцією (5,0-80,0 мТл.) і частотою проходження імпульсів 0,1-20,0 Гц. В даному способі, на відміну від прототипу, додатково до, під час та після процедури магнітотерапії вимірюють значення параметрів АТ, частоти серцевих скорочень та сатурації в ділянці БТ, що найближче розташована до зони впливу діючого МП.

На рис. 6.5 зображено структурну схему запропонованого нами пристрою [143, 144], що реалізує даний спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії (використовується біотехнічний ЗЗ на основі аналізу фізіологічних показників та магнітної індукції людини).

Запропонований спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії реалізується наступним чином.

Крок 1. Магнітний індуктор (МІ) встановлюють в заданій зоні на тілі пацієнта.

Крок 2. З електронного блоку МТА для формування МП з заданими нормованими параметрами $B(t)$ по котушці індуктора пропускають імпульсний

струм $I(t)$, що змінюється відповідно до заданих законів (синусоїдального чи трапецеїдального), з нормованими параметрами та формою.

Крок 3. Під час процедури точно нормоване МП заданої форми діє на задану ділянку тіла пацієнта.

Крок 4. Датчиком Холла (ДХ) заміряється магнітна індукція $B(t)$ ІМП, ЗМП, ПМП на біологічному об'єкті (БО), яка обробляється і індидується на табло тесламетра (ТЛ), наприклад, «43205». В зоні дії МП датчиком температури (ДТ) реєструються значення температури з часу початку фізіо-процедури до її закінчення та її поверхневий розподіл на ділянці БТ. Блок вимірювання температури (БВТ) обробляє та індікує значення температури БО в зоні дії МП та її поверхневий розподіл. Блоки вимірювання АТ і пульсу (БВАТП) та сатурації (БВС) проводять реєстрацію відповідними датчиками АТ, пульсу (ДАТП) та сатурації (ДС) до, під час та після процедури магнітотерапії та індікують значення даних фізіологічних показників пацієнта.

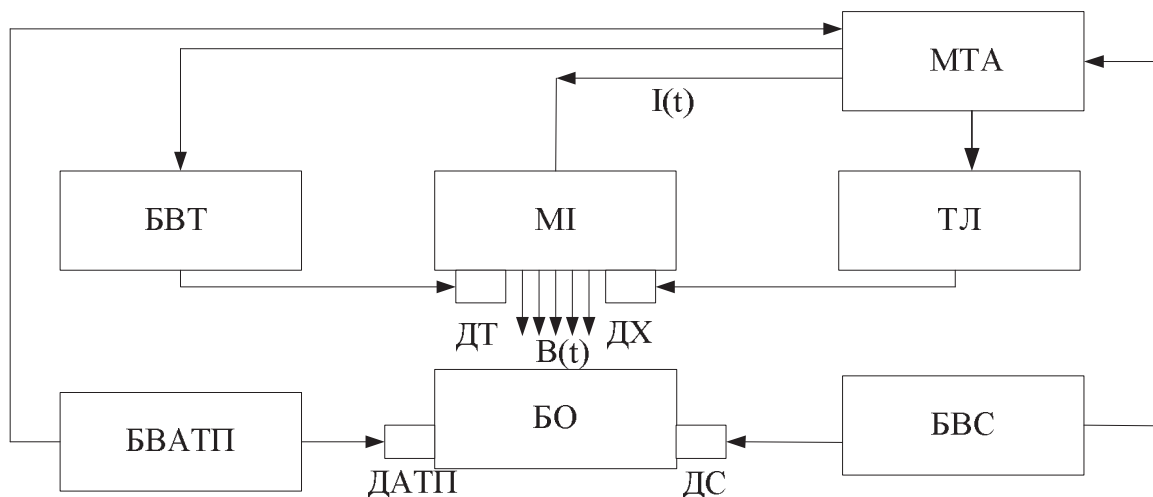


Рис. 6.5. Структурна схема способу адаптивної імпульсної магнітотерапії

6.4. Автоматизований апарат магнітотерапії

Запропоновано новий автоматизований апарат магнітотерапії [161], який на відміну від прототипу [174] додатково містить блок порівняння (БП), додатково під'єднаний до блоку керування (БК) та блоку датчиків

(БД) стану пацієнта, а вихід його підключений до блоку індикаторів (БІ) (рис. 6.6). При цьому блок датчиків (БД) стану пацієнта зв'язаний з датчиком струму (ДС) та датчиками Холла (ДХ), розміщених на поверхні секцій індуктора соленоїда (ІНД), що прилягають до тіла пацієнта та підключених до БІ.

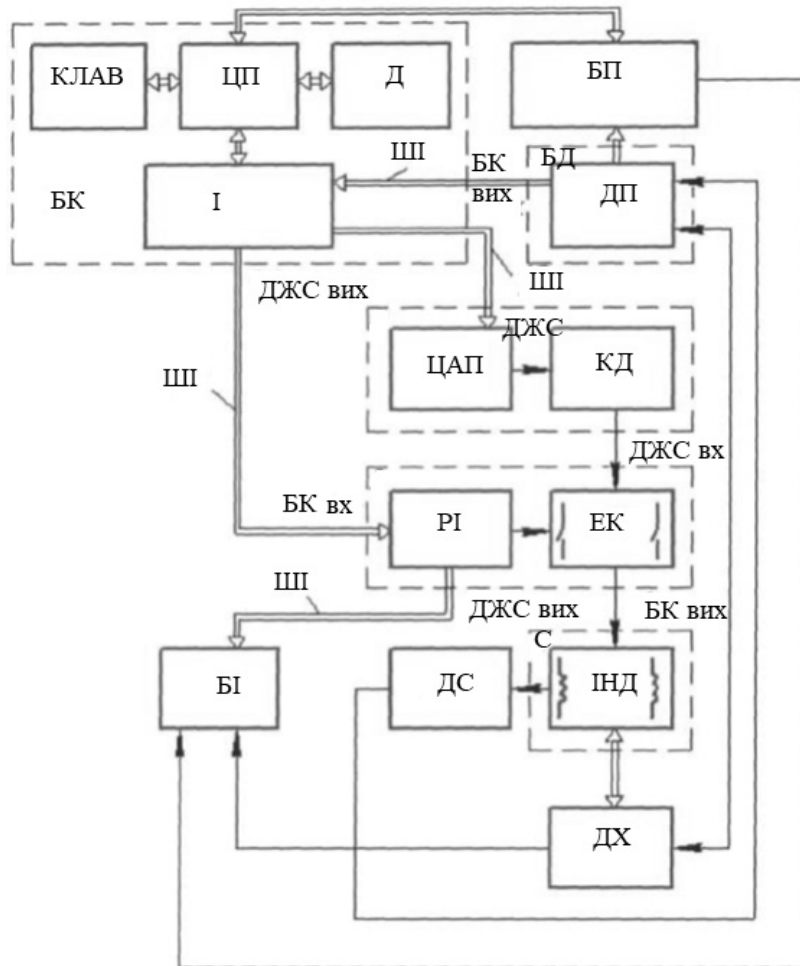


Рис. 6.6. Блок схема автоматизованого апарату магнітотерапії

Автоматизований апарат для магнітотерапії може працювати в трьох режимах - синхронному, асинхронному та комбінованому.

В якості БК використовується персональний комп'ютер. Персональний комп'ютер містить центральний процесор (ЦП), інтерфейс (І), клавіатуру (КЛАВ), дисплей (Д), шини інтерфейса (ШІ), регульоване джерело струму (ДЖС), що складається з цифро - аналогового перетворювача (ЦАП), керуючого джерела (КД). Розподільник включає розподільник імпульсів (РІ) і електронні ключі (ЕК).

Крім того, до складу автоматизованого апарату магнітотерапії може входити скафандр (С), що містить ІНД, ДС, блок датчиків реакції пацієнта (реалізує ЗЗ), що містить датчик пульсу (ДП) і Бі. Бі додатково підключений до БК. ДХ розміщені на поверхні секцій ІНД, що прилягають до тіла пацієнта та підключені до Бі. БД може містити від одного до декількох датчиків, що встановлюються на тілі пацієнта і сигналізують його стан під час процедури. Це можуть бути ДП, кров'яного тиску, температури ділянок шкіри. Синхронізація роботи автоматизованого апарату для магнітотерапії реалізується вихідним сигналом ДП та Бі, що надходить по ШІ, дозволяє формувати МП різних форм в момент систолічної фази роботи серця. Бі дозволяє підтримувати та оперативно коригувати параметри МП в залежності від стану пацієнта (температура, параметри АТ).

Параметри і напрямки дії МП можна точно виміряти за допомогою ДХ під час процедури.

Рівень значень вихідного ДЖС, що протікає через секцію ІНД, пов'язаний з вихідною напругою ЦАП, який, в свою чергу, визначається кодом, інтерфейсу (І), що надходить по ШІ.

Розподільник являє собою набір ЕК або реле, керованих через дешифратор кодовими сигналами БК. Черговість перемикачів задається послідовністю сигналів з виходу РІ, управління яких здійснюється кодом, що надходять по ШІ.

Контроль роботи РІ, БД та Бі та ДХ здійснюється Бі та виводиться на панель Бі.

ДС служить для вимірювання значень струму, що протікає через секції ІНД при налаштуванні або контролі, а також передає інформацію про величину струму на БД.

Таким чином, код, що надходить на ЦАП по ШІ управляє величиною вихідного струму керованого ДЖС, а код, що надходить на РІ по ШІ, відкриває один з ключів, комутуючий струм через відповідну секцію ІНД, що контролюється вимірними сигналами з ДХ.

Запропонований автоматизований апарат для магнітотерапії має більш широкі можливості, зручний в роботі і дозволяє скоротити час підготовки та тривалість самої процедури через автоматичне налаштування апарату до індивідуальних особливостей реакцій пацієнта. Він допомагає підсилити метаболізм клітин, збільшити ефективність фізіотерапевтичної процедури.

6.5. Алгоритм автоматизованої оцінки впливу магнітного поля на біологічну тканину

Розглянемо алгоритм процедури оптимізації біотропних параметрів МП відповідно до фізіологічних показників стану організму людини в апараті магнітотерапії [175, 176]. Перед початком сеансу магнітотерапії з бази даних відповідно до захворювання та стану пацієнта обираємо методику лікування МП.

До фізіологічних показників стану організму людини, що контролюються під час сеансу магнітотерапії, висувається ряд вимог [177]:

- фізіологічні показники людини повинні бути пов'язані з часом та змінюватися при впливі МП впродовж однієї процедури магнітотерапії;
- показники повинні бути вимірними в умовах оточення достатньо сильного електромагнітного поля;
- показники повинні реєструватися неінвазивно, бажано безконтактно, автоматично та постійно впродовж сеансу магнітотерапії.

Дані вимоги обґрунтували вибір нами в апараті магнітотерапії в якості фізіологічних показників пацієнта швидкість зростання температури БТ (T_t'), частоту серцевих скорочень (P) та АТ.

Приведемо алгоритм (рис. 6.7), який реалізує принцип адаптивного керування в запропонованому комплексі для реалізації способу адаптивної імпульсної магнітотерапії. В алгоритмі запропонована процедура оптимізації біотропних параметрів МП відповідно до фізіологічних показників

стану організму людини (швидкості зміни температури БТ T'_t , частоти серцевих скорочень P або AT) під час сеансу магнітотерапії [176].

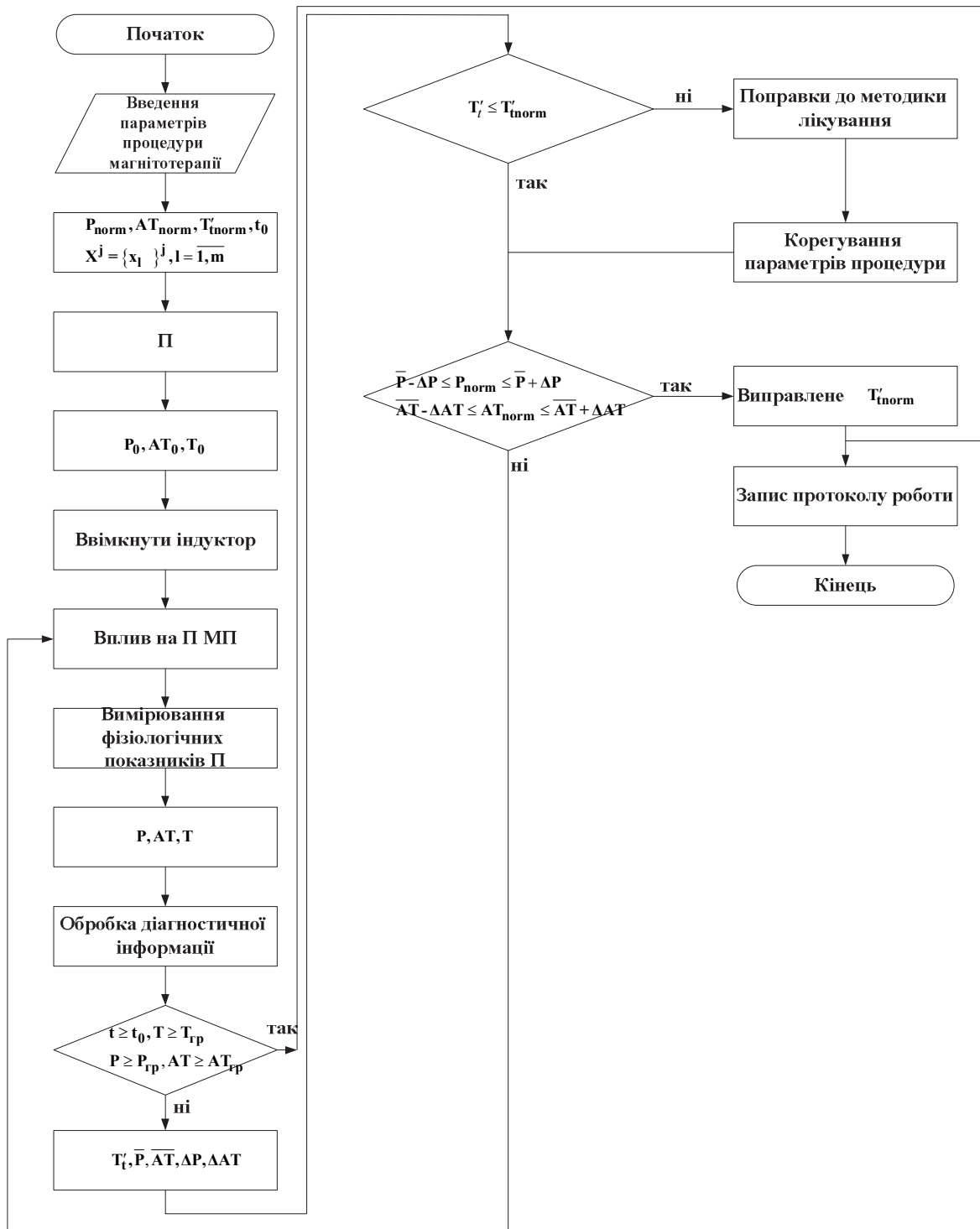


Рис. 6.7. Алгоритм адаптивного керування сигналом в апараті магнітотерапії

Перед початком сеансу магнітотерапії з бази даних відповідно до захворювання та стану пацієнта (П) обираємо методику лікування МП.

Основні кроки алгоритму.

Крок 1. Задача адаптивного керування біотропними параметрами магнітотерапевтичного впливу досягається тим, що перед початком лікування введено методику магнітотерапії з встановленими біотропними параметрами МП $X^j = \{x_l\}^j$, де j - спосіб лікування МП пацієнта (П), $x_l, l = \overline{1, m}$ - набір біотропних параметрів МП (магнітна індукція, частота, час процедури магнітотерапії t_0 , форма імпульсу та т.ін.). З бази даних обираються значення основних фізіологічних показників, що характеризують «норму» ($T'_{norm}, P_{norm}, AT_{norm}$), до якої потрібно прагнути при даному захворюванні для даного пацієнта, враховуючи основні та супутні захворювання. Значення «норми» отримують шляхом набору та усереднення великих масивів статистичної інформації, отриманої в результаті лікування захворювання.

Крок 2. До процедури магнітотерапії вимірюються фізіологічні показники пацієнта (початкові фізіологічні показники P_0, T_0, AT_0) та запам'ятовуються в якості вихідних даних.

Крок 3. Під час сеансу магнітотерапії вимірюються поточні фізіологічні показники P, T', AT .

Крок 4. Поточні фізіологічні показники порівнюються з гранично допустимими T_{gr}, P_{gr}, AT_{gr} . Якщо поточні значення фізіологічних показників пацієнта та часу процедури t дорівнюють чи перевищили гранично допустимі значення $t \geq t_0, T \geq T_{gr}, P \geq P_{gr}, AT \geq AT_{gr}$ (що відповідає погіршенню стану пацієнта), то в МТА спрацьовує звукова сигналізація, записується протокол роботи та лікар припиняє процес.

Крок 5. Розраховуються швидкість зміни температури БТ, усереднені значення частоти серцевих скорочень (за вибіркою) та; визначаються в першому наближенні як похибка вимірювання частоти серцевих скорочень.

Крок 6. Залежність швидкості зміни температури БТ (T'_t) від значення амплітуди магнітної індукції B_0 обрана для оцінки стану здоров'я пацієнта як фізіологічний показник, необхідний для розрахунку та задавання поправочних коефіцієнтів до методики його лікування. Якщо умова $T'_t \leq T'_{t\text{norm}}$ не виконується, то вноситься поправка до методики лікування: коригуються параметри процедури. Встановлюються нові значення біотропних параметрів. Процедура магнітотерапії продовжується з новими біотропними параметрами МП.

Крок 7. Відбувається перевірка умови $\bar{P} - \Delta P \leq P_{\text{norm}} \leq \bar{P} + \Delta P$ або $\overline{AT} - \Delta AT \leq AT_{\text{norm}} \leq \overline{AT} + \Delta AT$, тобто нормальне значення частоти серцевих скорочень P_{norm} та артеріального тиску AT_{norm} повинні знаходитися в коридорі шириною, відповідно, $2\Delta P$ та $2\Delta AT$. Якщо дана умова виконується, то процедура магнітотерапії закінчується записом протоколу роботи, куди заносяться значення фізіологічних показників пацієнта та біотропних параметрів МП, а також виправлене значення $T'_{t\text{norm}}$ з метою використання в наступних сеансах магнітотерапії для даного пацієнта.

При реалізації даного алгоритму можна обмежитись тільки одним біотропним параметром. Найбільш важливим біотропним параметром, який піддається оптимізації під час сеансу магнітотерапії, є середня магнітна індукція [27], яка визначається як

$$B_{\text{cp}} = \left(\sum_{i=1}^n B_i t_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n t_i \right), \quad (6.2)$$

де B_i - магнітна індукція впродовж i -го такту;

t_i - довжина i -го такту;

B_{cp} - оцінка середнього значення магнітної індукції;

n - число тактів в одному циклі методики.

$$\text{I такт: } B_{\text{cp}} = B_1;$$

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

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

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

Переваги використання в якості біотропного параметра середнього значення магнітної індукції [27]:

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

Таким чином, розроблений за допомогою методу кластерного аналізу алгоритм оперативного керування МТА на основі аналізу фізіологічних показників пацієнта дозволить підвищити результати лікування МП захворювань організму людини та може бути використаний для створення нового покоління адаптивних апаратів магнітотерапії, які регулюють параметри лікувальної дії у відповідності з апіорними показниками пацієнта.

6.6. Дослідження лікувальної ефективності магнітотерапевтичних апаратів зі зворотнім зв'язком

При дослідженні лікувальної ефективності магнітотерапевтичних апаратів зі зворотнім зв'язком проведемо визначення та порівняльний аналіз дослідних зразків автоматизованих магнітотерапевтичних апаратів.

6.6.1. Визначення та порівняльний аналіз лікувальної ефективності дослідних зразків автоматизованих магнітотерапевтичних апаратів

Для медико - технічного обґрунтування розробки МТА зі 33 (досягнення максимальної лікувальної ефективності та введення нових елементів в склад МТА зі 33) необхідно визначити критерій лікувальної ефективності.

Метою дослідження є порівняльна кількісна оцінка лікувальної ефективності запропонованого способу адаптивної імпульсної магнітотерапії та серійних МТА.

Досягнення високої терапевтичної ефективності апаратів магнітотерапії є актуальною проблемою на сучасному етапі розвитку медичного приладобудування. Рішення цієї проблеми полягає в створенні МТА, здатних забезпечити найкращий лікувальний ефект. 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 [31]:

$$E_a = \frac{(1 - P_a) \sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n P_{ji}}{P_a + \sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n P_{ji}}, \quad (6.3)$$

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

$$P_{ji} = 1 - \left(1 - \frac{k_j}{K}\right)^{n_i}, \quad (6.4)$$

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;

Δt - тривалість кожної процедури лікування МП.

Відповідно до [97] кількість процедур магнітотерапії під час курсу лікування пацієнта складає 10 - 20 (оберемо $N = 15$), тривалість кожної процедури складає 10 - 20 хвилин. Для МТА зі ЗЗ $N_a = 0$, $N - N_a = 5$.

Для дослідження лікувальної ефективності апаратів магнітотерапії приведемо основні блоки МТА, що входять до складу апарату та операції, що виконуються блоками (табл. 6.1):

- 1 - програмований блок керування (ПБК);
- 2 - магнітний індуктор (МІ);
- 3 - блок вимірювання сигналу зворотнього зв'язку (БВСЗЗ);
- 4 - блок індикації (БІ).

Таблиця 6.1

Операції, що виконуються блоками МТА

№	Блок апарату	Операції
1	ПБК	1 - установка та корегування біотропних параметрів МП 2 - оцінка ефективності лікування за зміною фізіологічних показників пацієнта 3 - оцінка ефективності лікування за зміною фізіологічних показників та магнітної індукції пацієнта
2	МІ	1 - генерація сигналів МП 2- поєднаний вплив МП та фізичних полів
3	БВСЗЗ	реєстрація фізіологічних показників та магнітної індукції: 1 - температури 2 - магнітної індукції і температури 3 - пульсу і АТ 4 - пульсу і сатурації 5 – сатурації
4	БІ	1 - індикація біотропних параметрів МП та фізіологічних показників пацієнта 2 - індикація біотропних параметрів МП

Проведемо порівняльний аналіз лікувальної ефективності дослідних зразків автоматизованих МТА ($\Pi_m, m = \overline{1,4}, m$ - номер патенту).

В табл. 6.2 представлено число операцій ($k_j, j = \overline{1,4}, j$ - номер блоку), що виконуються кожним блоком запропонованих нами дослідних зразків автоматизованих МТА: Π_1 - пристроєм для реалізації способу впливу на організм МП; Π_2 - біокерованим автоматизованим багатофункціональним апаратом магнітофототерапії, Π_3 - комплексом для реалізації способу адаптивної імпульсної магнітотерапії, вважаємо, що $n_i = n$.

Показники P_{ji} розраховуються за формулою (6.4) з врахуванням табл. 6.2 для МТА.

Таблиця 6.2

Функції, що виконуються блоками дослідних зразків автоматизованих МТА [144]

МТА	k_1	k_2	k_3	k_4	n	K
Π_1	2	1	1	-	4	5
Π_2	3	2	2	1	4	8
Π_3	3	1	3	1	4	8

Для Π_1 : $P_1 = P_{11} \cdot P_{12}; P_2 = P_{21}; P_3 = P_{31}$.

Для Π_2 : $P_1 = P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13}; P_2 = P_{21} \cdot P_{22}; P_3 = P_{31} \cdot P_{32}; P_4 = P_{41}$.

Для Π_3 : $P_1 = P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13}; P_2 = P_{21}; P_3 = P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33}; P_4 = P_{41}$.

Значення $P_j, j = \overline{1,4}$ та коефіцієнтів лікувальної ефективності МТА E_a за формулою (6.3) представлено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Лікувальна ефективність дослідних зразків автоматизованих МТА

МТА	P_1	P_2	P_3	P_4	P_a	E_a
Π_1	0,7656	0,5781	0,5781	-	0,3678	53
Π_2	0,6085	0,4673	0,4673	0,4138	0,3678	53,2
Π_3	0,6085	0,4138	0,6085	0,4138	0,3678	53,6

Як слідує з табл. 6.3, реалізація адаптивного ЗЗ в МТА (P_3) підвищує лікувальну ефективність у 2,79 разів.

6.6.2. Порівняння лікувальної ефективності промислових магнітотерапевтичних апаратів з адаптивним магнітотерапевтичним комплексом

В табл. 6.4 представлено число операцій ($k_j, j = \overline{1,4}$, j - номер блоку), що виконуються кожним блоком комплексу для реалізації способу адаптивної імпульсної магнітотерапії, серійних МТА «МАГ-30-4», «Полюс-4» та «МІТ-11», вважаємо, що $n_i = n$.

Розрахуємо показники P_{ji} за формулою (6.4) з врахуванням табл. 6.4 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 «МІТ-11»: $P_1 = P_{11}; P_2 = P_{21} \cdot P_{22}; P_4 = P_{41}$.

Таблиця 6.4

Число операцій, що виконуються блоками МТА

МТА	k_1	k_2	k_3	k_4	n	K
МТА, що реалізує спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії	3	1	3	1	4	8
«МАГ-30-4»	-	1	-	-	1	1
«Полюс-4»	1	1	-	1	3	3
«МІТ-11»	1	2	-	1	3	4

Для комплексу, що реалізує спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії:

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

Значення $P_j, j = \overline{1,4}$ та коефіцієнтів лікувальної ефективності МТА (E_a) за формулою (6.3) представлено в табл. 6.5 [144, 162].

Таблиця 6.5

Порівняння лікувальної ефективності МТА

МТА	P_1	P_2	P_3	P_4	P_a	E_a
МТА, що реалізує спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії	0,5461	0,4138	0,5461	0,4138	0,3678	53,61
«МАГ-30-4»	-	1	-	-	0,7165	16,5
«Полюс-4»	0,7037	0,7037	-	0,7037	0,7165	21,2
«МІТ-11»	0,5781	0,7656	-	0,5781	0,7165	20,7

З приведених розрахунків слідує, що введення ЗЗ в МТА дозволяє підвищити лікувальну ефективність до 53,61%.

Таким чином розглянуті автоматизовані магнітотерапевтичні апарати та досліджені їх структури і режими роботи.

ПІСЛЯМОВА

В приведених дослідженнях розглянуті сучасні методи, системи та апарати магнітотерапії. Значну увагу приділено автоматизованим магнітотерапевтичним апаратам і системам. Запропоновані та розглянуті математичні моделі впливу МП на БТ. Проаналізовані та представлені МТА серії «МПТ», створені НМЦ «Медичні інноваційні технології». Запропоновано структурні схеми побудови адаптивних МТА та автоматизованих МТА, на технічні рішення яких отримані патенти України. Математичне моделювання підтверджує їх високу лікувальну ефективність, яка більше ніж у серійно випускаємих МТА.

Запропоновано принципи здійснення біотехнічного ЗЗ в автоматизованому комплексі МТА для реалізації способу адаптивної імпульсної магнітотерапії на основі контролю магнітної індукції (датчик Холлу) та аналізу фізіологічних показників (температури, пульсу, артеріального тиску, сатурації, глибини проникнення фармацевтичних препаратів в БТ) людини.

Проведено порівняльний аналіз лікувальної ефективності серійно випускаємих МТА та запропонованого нами автоматизованих МТА, що реалізує спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії, який показує, що використання апарату магнітотерапії з адаптивним ЗЗ покращує лікувальну ефективність у порівнянні з діючими серійними МТА: у 2,53 разів («Полюс-4»), у 2,59 разів («МПТ-11») та у 3,25 разів («Маг-30-4»).

Розроблені алгоритми оперативного керування автоматизованих МТА на основі аналізу фізіологічних показників пацієнта, що дозволило підвищити результати лікування МП захворювань організму людини та може бути використаний для створення нового покоління автоматизованих адаптивних апаратів магнітотерапії, які корегують параметри лікувальної дії у відповідності з апіорними, індивідуальними показниками пацієнта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mysula I. The current state of rehabilitation of Ukrainian citizens / I. Mysula, Y. Mysula, N. Sydliaruk // Health Prob Civil. - 2017. - vol. 11(4). - P. 275 -279.
2. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля / Ю.А. Холодов, Н.Н. Лебедева. - М.: Наука, 1992. - 135 с.
3. Реакции биологических систем на магнитные поля / [сб. научн. трудов / под ред. Ю.А. Холодова]. - М: Наука, 1978. - 216 с.
4. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа / А.С. Пресман. - М.: Наука, 1968. - 288 с.
5. Демецкий А.М. Введение в медицинскую магнитологию / А.М. Демецкий, В.Н. Чернов, Л.И. Попова. - Ростов-на-Дону : издательство Ростовского университета, 1991. – 96 с.
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. - 320 с.
7. Сердюк В.В. Магнитотерапия: Прошлое, настоящее, будущее. Справочное пособие / В.В. Сердюк. - К.: «Азимут - Украина», 2004. - 536 с.
8. Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение / В.С. Улащик [и др.]: под общ. ред В.С. Улащика. - Минск: «Беларуская навука», 2015. - 379 с.
9. Милославский Д.К. Клініко-патогенетичні основи ефективності магнітотерапії при гіпертонічній хворобі: Автореф. дис. канд. мед. наук. - Харків, 1995. - 25 с.
10. Самосюк И.З. Терапия магнитными полями / И.З. Самосюк, Н.В. Чухраев., В.В. Парамончик и др. Научно-практические материалы. Вып. 3. - К.: НМЦ «МЕДИНТЕХ», 2000. - 240 с.

11. Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строго периодической вибрации // Сб. статей под ред. В.И Кармилова, М.Р. Могендовича, А.В. Селезнева. - Молотов: Типограф. "Звезда", 1948. - 168 с.

12. Дорфман Я.Г. Физические явления, происходящие в живых объектах под действием постоянных магнитных полей / Я.Г. Дорфман // Влияние магнитных полей на биологические объекты. - М.: Наука. - 1971. - С. 17 - 31.

13. Иларионов В.Е. Магнитотерапия / В.Е. Иларионов. - М.: Книжный дом Либроком, 2016. - 136 с.

14. Пономаренко Г.Н. Биофизические основы физиотерапии / Г.Н. Пономаренко. - М. : Медицина, 2006. - 176 с.

15. Соловьева Г.Р. Магнитотерапевтическая аппаратура / Г.Р. Соловьева. - М.: Медицина, 1991. - 176 с.

16. 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.

17. Жулев В.И. Направления оптимизации в магнитотерапии при общем воздействии / В.И. Жулев // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2002. - № 7. - С. 14 - 23.

18. Райгородский Ю.М. Комплексный подход к разработке магнитотерапевтической техники на примере аппарата «Атос». / Ю.М. Райгородский, Г.П. Семягин, Д.А. Татаренко // Медицинская техника. - 1995. - № 4. - С. 32 - 35.

19. Райгородский Ю.М. Форетические свойства физических полей и приборы для оптимальной физиотерапии в урологии, стоматологии и офтальмологии / Ю. М. Райгородский, Ю.В. Серянов, А.В. Лепилин-Саратов : издательство Саратовского ун-та, 2000. - 269 с.

20. Райгородский Ю.М. Бегущие магнитные поля и приборы для оптимальной физиотерапии / Ю.М. Райгородский, Ю.В. Серянов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2002. №1. С. 57 - 67.

21. Викторов В.А. Основы разработки аппаратуры для магнитотерапии и аппараты системы "Полюс" / В.А. Викторов, Ю.В. Малков // Медицинская техника. - 1994. - № 3. - С. 26 - 32.

22. 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.

23. Малков Ю.В. Аппарат для магнитотерапии и магнитофореза "Полюс - 3" / Ю.В. Малков, А.И. Коробков, Н.А. Петрова // Мед. техника. - 1993. - № 2. - С. 46 - 48.

24. Малков Ю.В. Аппарат для магнитотерапии "Полюс - 2" / Ю.В. Малков, В.А. Еремин // Новые методы и аппаратура для физиотерапии. - М. - 1988. - С. 31 - 36.

25. Лужнов П.В. Разработка аппаратно-программных средств системы биоадекватного электромагнитного воздействия / П.В. Лужнов, А.А. Морозов // Биомедицинская радиоэлектроника 2000. № 9. - с.33 - 37.

26. Григорьев Е.М. Построение многоэлементных полеформирующих систем низкочастотной магнитотерапии / Е.М. Григорьев, В.И. Жулев, М.Б. Каплан, В.Г. Кряков // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2003. - № 7. - С. 25 - 36.

27. Борисов А.Г. Адаптивное управление в магнитотерапевтических системах на основе комплексной оценки состояния пациента / А.Г. Борисов, Е.М., В.И. Жулев, О.В. Кирьяков // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2001. - № 7. - С. 14 - 19.

28. Зубчук В.И. Адаптивные системы в магнитотерапии / В.И. Зубчук, В.В. Шлыков // Клиническая информатика и телемедицина. - 2006. - Т. 3. - Вип. 4. - С. 132.

29. Борисов А.Г. Синтез эффективных структур управления средствами комплексной магнитотерапии / А.Г. Борисов, Е.М. Григорьев, В.И. Жулев // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2003. - № 7. - С. 37 - 46.

30. Делавар – Касмаи Мохаммад. Система адаптивной магнитотерапии с пульсометрической обратной связью: Автореф. дис. канд. техн. наук, К., 2017. - 28 с.

31. Шликов В. В. Комп'ютерний комплекс адаптивної магнітотерапії: Автореф. дис. канд. техн. наук. - К., 2004. - 20 с.

32. Золотухина Е.И. Основы импульсной магнитотерапии. Справочное пособие / Е.И. Золотухина, В.С. Улащик. - Витебск, 2008. - 144 с.

33. Дорощук І.А., Терещенко М.Ф. Система стимуляції біологічних тканин з діагностикою / Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15- 16 травня 2019 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2019. - 487 с., С. 305-308.
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28132>

34. Пат. 135045 Україна, МПК (2006): А61В 5/053 (2006.01), А61В 8/00. Спосіб виміру параметрів проникнення і оцінки стану біологічних тканин /Терещенко М.Ф., Копищик В.В., Чухраєв М.В., Паньков С. Б., Цапенко В.В., Терещенко К.М. - №и 201900565; заявл. 21.01.2019; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11.

35. Акустичні медичні прилади: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.051003-«Приладобудування» / НТУУ «КПІ» ; уклад.: М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, В.Ю. Рудик. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 126 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26439>

36. Дорощук, І. А. Автоматизована система стимуляції і діагностики біологічних тканин / Дорощук І. А., Терещенко М. Ф. // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорсь-

кого, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 344–347.

37. Дорощук, И. А. Аппарат диагностики и электростимуляции биологических тканей / И. А. Дорощук, Н. Ф. Терещенко, В. В. Шевченко // Новые направления развития приборостроения : Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17–19 апреля 2019 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 114-115.

38. Пат. 135423 Україна, МПК А61В 5/053. Пристрій діагностики та електростимуляції біологічних тканин людини / Терещенко М. Ф., Дорощук І. А., Тимчик Г.С., Яковенко І.О., Вислоух С.П. - № u2019 01309; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. 12.

39. Тимчик Г.С. Фізіотерапевтична апаратура : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл. за напрямом підготов. "Приладобудування"] / Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова, І. М. Діордіца ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К. : НТУУ "КПІ", 2012. - 279 с.

40. М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія. Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>

41. М.Ф. Терещенко, М.В. Чухраєв, К.М. Терещенко, «Адаптивні системи та апарати фізіотерапії» на XVIII Міжнародній науково-технічній конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 15 – 16 трав. 2019 р., Київ, Україна, 2019. – 224 с., С. 127-128.

42. А. V. Kyrylova, M. F. Tereshchenko, H. S. Tymchyk, V. Yu. Rudyk, «Alhorytm avtomatyzovanoho otsiniuvannia vplyvu ultrazvuku na biolohichnu

tkanynu», Visnyk of NTUU «KPI». Series Instrument Making, vol. 5, pp. 98-102, 2013.

43. Деген И.Л. Магнитотерапия / И.Л. Деген. - М.: Практическая медицина, 2010. - 271 с.

44. Самосюк И.З. Магнитолазероультразвуковая терапия. / И.З. Самосюк, Н.В. Чухраев, В.Г. Мясников, Н.И. Самосюк. Научно-практические материалы. Вып. 4. 0 М - К.: НМЦ «МЕДИНТЕХ», 2001. - 202 с.

45. Самосюк И.З. Руководство по применению аппарата для магнито-квантовой терапии. / И.З. Самосюк, Н.В. Чухраев. - К., 2001. - 168 с.

46. Самосюк И.З. Физические методы лечения и медицинской реабилитации больных и инвалидов. / И.З. Самосюк, Н.В. Чухраев, С.Т. Зубкова, Н.И. Самосюк, Г.Е. Шимков. - К.: Здоровья, 2004. - 624 с.

47. Самосюк И.З. Руководство по применению аппарата для магнито-квантовой резонансной терапии МИТ-МРТ. / И.З. Самосюк, Н.В.Чухраев. Издание третье дополнительное - К.: НМЦ «МЕДИНТЕХ», 2004. - 264 с.

48. Самосюк И.З. Магнитолазероультразвуковая терапия. Новые технологии физиотерапевтического лечения / И.З. Самосюк, А.А. Владимиров, Н.В. Чухраев, Н.И. Самосюк, Е.Н. Чухраева, М.А. Стукалин, М.А. Гунько. - К.: НМАПО имени П.Л. Шупика, УО физической и реабилитационной медицины, 2016. - 320 с.

49. Чухраев Н.В. Сочетанное применение магнитных полей, ультразвуковых волн и оптического потока в клинической и курортной практике. Научно-методические материалы по применению аппарата МИТ-31 / Медицинские инновационные технологии / Дубна, 2016. - 340 с.

50. Самосюк И.З. Медицинская и психологическая реабилитация постинсультных больных. / И.З. Самосюк, И.В. Малюта, Н.В. Чухраев. - Радом. Radomska Szkoła Wyższa w Radomiu, 2018. - 527 с.
<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1169332>

51. Самосюк И.З. Применение ультразвуковой и магнитолазерной терапии в клинической и спортивной медицине / И.З. Самосюк, В.И. Малюта, Н.В. Чухраев, А.А. Шморгун. - Киев, 2019. - 376 с.

52. Самосюк И.З. Применение аппарата «МИТ-1» для сочетанного воздействия на рефлексогенные зоны. / И.З. Самосюк, Н.В. Чухраев, К.Э. Колесник, А.К. Кожанова. // Электроника и связь. Научно-технический журнал. - 1998, Часть III. - № 4. - С.540 - 545.

53. Самосюк И.З. Вихревая гидрофотомагнитотерапия (ВГФМТ) в лечебных и оздоровительных целях / И.З. Самосюк, Н.В. Чухраев, Н.И. Самосюк, Е.Н. Чухраева, Н.П. Думина // Вестн. физиотерапии и курортологии. - 2009. - № 2. - С. 136 - 138.

54. Матвієнко С. М. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, А. М. Матвієнко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2017. – № 4. – С. 121–130.

55. Чухраев Н.В. Применение магнитолазерной терапии в программах лечения ангиопатии нижних конечностей при диабете / Н.В. Чухраев, А.М. Коробов, Е.Н. Чухраева. Материали XLVII Міжнародної науково-практичної конференції. Застосування лазерів в медицині і біології. 12 - 14 жовтня 2017 р., м. Київ. - С. 159 - 162.

56. Афанасьев Ю.В. Средства измерений параметров магнитного поля / Ю.В. Афанасьев, Н.В. Студенцов, В.Н. Хорев, Е.Н. Чечурина, А.П. Щелкин. - Л: Энергия. Ленингр. Отд-ние, 1979. - 320 с., ил.

57. Гринберг И.П. Измерители индукции переменных магнитных полей / И. П. Гринберг, Е. А. Шуляковский. - К. : Техніка, 1982. - 168 с.

58. Нестеренко А.П. Магнитные измерения / А. П. Нестеренко. - Луганск: Восточноукраинский национальный ун-т им. Владимира Даля, 2003. - 123 с.: рис., табл. - ISBN 966-590-427-2.

59. Бондаренко В.И. Аналоговые измерительные приборы. Магнитные измерения: учеб. пособие для студ. вузов / В. И. Бондаренко [и др.]. - Х.: НТУ "ХПИ", 2007. - 132 с.: рис., табл. - ISBN 978-966-384-057-4.

60. Шишло М.А. О биотропных параметрах магнитного поля / М.А. Шишло // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. - 1981. № 3. - С. 61 - 62.

61. Демецкий А.М. Учебное пособие по применению магнитной энергии в практике здравоохранения / А.М. Демецкий, А.В. Цецохо. - Самара: Изд-во самарского мед. ин-та, 1991. - 157 с.

62. Рудик В.Ю. Вплив магнітного поля на фізіологічні показники організму людини / В.Ю. Рудик // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. - 2014. - вип. 68. - С. 114 - 124.

63. Гемба В.М. Прилади комплексного впливу електромагнітними полями для фізіотерапії ран м'яких тканин. - Х.: Харк. нац. ун-т радіоелектрон., 2006. - 23 с.

64. Терещенко М.Ф. Багатофункціональні фізіотерапевтичні апарати комплексної дії / Терещенко М.Ф., Кулик З.В. // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. - 2010. - № 40. - С. 159 - 165.

65. Новак П. Электромагнитные поля в биологии и медицине / П. Новак.- Днепропетровск: Пороги, 2004. - 392 с.

66. Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, І.О. Яковенко. - К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. - 444 с. ISBN 978-966-622-942-0. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>.

67. Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, І.О. Яковенко. - К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. - 288 с. ISBN 978-966-622-952-9 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>.

68. Рудик В.Ю. Біокерована система магнітофототерапії на основі оцінки фізіологічних показників людини / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2014. – № 1. – С. 85–92.

69. Холодов Ю.А. Магнитные поля биологических объектов / Ю.А. Холодов, А.Н. Козлов, А.М. Горбач. - М.: Наука, 1987. - 144 с.

70. Холодов Ю.А. Медико - биологические особенности применения магнитных полей в практическом здравоохранении / Ю.А. Холодов. - Л., 1989. - 21с.

71. Влияние магнитных полей на биологические объекты / [сб. научн. трудов / под ред. Ю.А. Холодова]. - М: Наука, 1971. - 203 с.

72. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь / А.П. Дубров. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974. - 175 с.

73. Джаксон М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика / М.Б. Джаксон. - М.: Мир, 2009. - 551 с.

74. Aceto H. Jr. Some studies on the Biological Effects of Magnetic Fields / H. Jr. Aceto, C. A. Tobias, I. L. Silver // IEEE Trans. Magn. - 1970. - Vol. 6. - №2. - P. 368 - 373.

75. Волобуев А.Н. Курс медицинской и биологической физики / А.Н. Волобуев. - Самара: Дом печати, 2002. - 432 с.

76. Шерклиф Дж. Курс магнитной гидродинамики / Дж. Шерклиф. - М.: Мир, 1967. - 313 с.

77. Тиманюк В.А. Живой организм и электромагнитные поля: Монография / В.А. Тиманюк, Э.А. Ромоданова, Е.Н. Животова. - Харьков: НФаУ «Золотые страницы», 2004. - 260 с.

78. Демецкий А.М. Искусственные магнитные поля в медицине. / М.А. Демецкий, А.Г. Алексеев. - Минск, 1981. - 94 с.

79. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. - М.: Медицина, 1975. - 448 с.

80. Кобец Г.Г. Реакция организма при локальном воздействии переменного магнитного поля (ПеМП) на различные области тела человека. / Г.Г. Кобец // Областная научно - практическая конференция «Магнитные поля в медицине, биологии и сельском хозяйстве», 18 -19 октября 1985 г. - Ростов-на-Дону, 1985. - С. 28 - 29.

81. Золотухина Е.И. Магнитотерапия больных артериальной гипертензией / Е.И. Золотухина, В.С. Улащик. // *Здравоохранение*, 2003. - № 11. - С. 17 - 22.

82. Лукьянова Т.В. Сочетанная магнитотерапия артериальной гипертонии (Экспериментально - клиническое исследование): Автореф. дис. канд. мед. наук. - М., 2002. - 21 с.

83. Терещенко М.Ф. Принципи побудови універсальних магнітофізіотерапевтичних апаратів / Терещенко М.Ф., Пищик М.В. // *Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування*. - 2008. - № 36. - С. 118 - 126. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/9200>

84. Кутьина И.К. Трансцеребральная сочетанная амплипульсмагнитотерапия больных артериальной гипертензией: Автореф. дис. д-ра мед. наук. - М., 1998. - 20 с.

85. Рыболовлев Е.В. Механизмы гипотензивного действия переменного магнитного поля у больных гипертонической болезнью. / Е.В. Рыболовлев, Е.В. Владимирский, Н.Л. Владимирская // *Механизмы лечебного действия магнитных полей*. – Ростов-на-Дону. - 1987. - С. 107 - 111.

86. Жуков Б.Н. Изменение транскапиллярного обмена у больных с хронической венозной недостаточностью ног под влиянием постоянного магнитного поля./ Б.Н. Жуков, Л.А. Труфанов, С.М. Мусиенко // *Вопр. Курортологии, физиотерапии и лечеб. физ.* - 1981. - № 4. - С. 28 - 31.

87. Терещенко М.Ф., Кос О.С. Особливості та структура автоматизованого магнітотерапевтичного апарату // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 48 (2). - с. 188 - 193, 2014. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/10983>

88. Улащик В.С. Теоретические и практические аспекты общей магнитотерапии / В.С. Улащик // *Вестник курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры*. - 2001. - № 5. - С. 3 - 8.

89. Кончугова Т.В. Основные достижения и направления развития аппаратной физиотерапии / Т.В. Кончугова, ЭМ. Орехова, Д.Б. Кульчицкая // Вестник курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. - 2013. - № 1. - С. 26 - 31.

90. Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме. В 2-х т. Т. 1. / Под редакцией Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак – Фаддена. - М.: Мир, 1989. - 353 с.

91. Bengali N. S. Magnet Therapy: Theory and Practice / N. S. Bengali. - New Delhi, 2001. - 249 p.

92. Bansal. H. L. Magneto Therapy Self - Help book / H. L. Bansal. - New Delhi, 2005 - 291 p.

93. Poonam J. A comprehensive guide to the principles of Magnet Therapy / J. Poonam. - New Delhi, 2004. - 97 p.

94. Brewer S. Healing with Magnetic therapy / S. Brewer. - Birmingham. - Great Britain, 2002. - 209 p.

95. Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 176 с. ISBN 978-966-622-980-2, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>

96. Терещенко М. Ф. Моделювання впливу змінних магнітних полів на параметри біологічних тканин / Терещенко М. Ф., Рудик В. Ю. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування . – 2011. – Вип. 41. – С. 131–139. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4256>

97. Боголюбов В.М. Техника и методики проведения физиотерапевтических процедур. Справочник / В. М. Боголюбов. - М.: Медицина, 2011. - 408 с.

98. Терещенко М.Ф., Гриценко В.В. Методи та принципи побудови фізіотерапевтичної апаратури імпульсних магнітних полів // Вісник НТУУ

«КПШ». Серія приладобудування. – Вип. 38. - с. 127 - 135, 2009.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/8506>

99. Илларионов В.Е. Биомеханизм магнитолазерной терапии. / В.Е. Илларионов // Советская медицина. - 1990. - № 7. - С. 25 - 28.

100. Улащик В. С. Сочетанные методы магнитотерапии / В.С. Улащик // Медицинские знания. - 2007. - № 4. - С. 9 - 15.

101. 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.

102. Клепач М.М., Терещенко М.Ф. Вплив магнітного поля на глибину проникнення фармацевтичних препаратів / Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р. – К. : ПБФ, КПШ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2019. - С. 309-312. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28133>

103. Цапенко В.В. Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко Материалы 9–й Международной научно_технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 – 22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – с. 135.

104. Малий О.А., Лесніков А.Г., Терещенко М.Ф., Яковенко І.О. Дія магнітного поля на параметри глибини проникнення фармацевтичних препаратів // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПШ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПШ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 358–361.

105. Пат. 109161 Україна, МПК А61N 1/32 (2006.01), А61N 2/00, А61N 2/02 (2006.01). Комбінований фізіотерапевтичний випромінювач / Терещенко М. Ф., Чухраєв М. В., Цапенко В.В. - № u201602534; заявл. 15.03.2016 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. 12.

106. Пат. 125546 Україна, МПК А61N 1/32 (2006.01), А61N 2/00, А61N 2/02 (2006.01). Універсальний комбінований фізіотерапевтичний випромінювач / Терещенко М. Ф., Чухраєв М. В., Цапенко В.В. - № u201712834; заявл. 26.12.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. 9.

107. Улащик В.С. Биосинхронизированная физиотерапия: общие основы, использование и перспективы развития. / В.С. Улащик // Здоровоохранение. - 2008. - № 5. - С. 13 - 18.

108. Рудик В.Ю. Зворотний зв'язок в апаратах магнітотерапії / Рудик В.Ю., Рудик Т.О., Поліщук О.Б. // Перспективні технології та прилади . Міжвузівський збірник. Випуск № 9 (2) м. Луцьк грудень 2016 р. - Луцьк: Луцький НТУ. - 2016. - С. 126 - 131.

109. Рудик В.Ю. Принципи побудови магнітотерапевтичної апаратури змінного магнітного поля зі зворотнім зв'язком / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // I Всеукраїнська научно-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених "Современные тенденции развития приборостроения", 19 - 20 ноября 2012 г. Луганск: Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля : Сб. тез док., 2012. - С. 262 - 264.

110. Улащик В.С. Физическая терапия в XXI веке / В.С. Улащик // Здоровоохранение. - 2005. - № 3. - С. 17 - 20.

111. Терещенко М. Ф. Оцінка та контроль ефективності впливу на біологічний об'єкт лазерним випромінюванням / М. Ф. Терещенко, С. П. Якубовський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2012. – Вип. 44. – С. 90 – 97.

112. Терещенко М.Ф. Магнітотерапевтичний апарат та міра для його повірки / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 142 – 148. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4692>

113. Улащик В. С. Современные направления развития магнитотерапии / В.С. Улащик // Вестник физиотерапии и курортологии. - 2001, т. 7. - № 3. - С. 9 - 15.

114. Рудик В.Ю. До питання класифікації сучасної магнітотерапевтичної апаратури / В.Ю. Рудик, Т.О. Рудик // XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» 2 - 4 листопада 2018 р., м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського : Зб. тез доп., 2018. - С. 116 - 118.

115. Дорфман Я.Г. О специфике воздействия магнитных полей на диамагнитные макромолекулы в растворах / Я.Г. Дорфман // Биофизика. - 1962. - № 6. - С. 733 - 734.

116. Рудик В.Ю. Моделювання впливу магнітного випромінювання на біологічні тканини / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко / X Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» 4 - 6 листопада 2011 р., м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського : Зб. тез доп. - 2011. - С. 154 - 155.

117. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. - М.: Наука, 1989. - 544 с.

118. Гак Е.З. Магнитогидродинамические и электрогидродинамические эффекты в механизмах действия магнитных полей на биологические объекты / Е.З. Гак, Г.П. Комаров, М.З. Гак // Реакции биологических систем на магнитные поля. - М.: Наука, 1977. - С. 26 - 38.

119. Терещенко М. Ф. Моделювання впливу змінних магнітних полів на параметри біологічних тканин / Терещенко М. Ф., Рудик В. Ю. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування. – 2011. – Вип. 41. – С. 131–139. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4256>

120. Терещенко М.Ф. Оцінка впливу та дії змінних магнітних полів на параметри біологічних тканин / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Актуальні питання біологічної фізики і хімії» БФФХ - 2011, 26 - 30 квітня 2011 р. м. Севастополь: Зб. тез доп. - Севастополь, 2011. - С. 70 - 72.

121. Рудик В.Ю. Вплив та дія змінних магнітних полів на біологічні об'єкти. / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // Збірник тез XIII Міжнародної молодіжної науково - практичної конференції «Людина і космос», 13 - 15 квітня 2011 р., м. Дніпропетровськ, 2011. - С. 322.

122. Берлин Ю.В. Некоторые особенности действия импульсных магнитных полей на электропроводные жидкости и биологические системы / Ю.В. Берлин, Г.М. Бувин, В.И. Белькевич, Е.З. Гак // Реакции биологических систем на магнитные поля. - М.: Наука. - 1977. - С. 39 - 48.

123. Хижняк Е.П. Анализ термоструктур биологических систем методом матричной инфракрасной термографии: Автореф. дис. докт. физ. - мат. наук. - Пушино, 2009. - 26 с.

124. Нагаєва Б.Е. Вплив магнітного поля на температурні параметри біологічних тканин / Нагаєва Б.Е., Терещенко М.Ф. // Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 4-5 грудня 2018 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», - 2018. - с. 298 - 301.

125. Тимчик Г. С. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора / Г.С. Тимчик, А.М. Матвієнко, М.Ф. Терещенко, С.М. Матвієнко// Наукові вісті НТУУ КПІ. - 2017. - № 5. - С. 110 - 122.

126. Tymchik G. Investigation Thermal Conductivity of Biological Materials by Direct Heating Thermistor Method / G. Tymchik, S. Vysloukh, N. Tereshchenko, S. Matvienko. - 2018 IEEE 38th International Conference on

ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO), April 24 - 26, 2018. - Kyiv. - P. 429-434.

127. Олександров Ю. М. Взаємодія фізичних полів з біологічними об'єктами. Частина 2 / Ю. М. Олександров. - Харків: ХНУРЕ, 2007. - 316 с.

128. Бинги В. Н. Магнитобиология: эксперименты и модели / В. Н. Бинги. - М.: Милта, 2002. - 592 с.

129. Tymchik G.S. The temperature method of control in a magnetotherapy / G.S. Tymchik, M.F. Tereshchenko, V.U. Rudyk // XIV PhD Workshop OWD 2012, Wisla. - P. 318-324.

130. Тимчик Г. С. Система температурного контролю в магнітотерапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, В. Ю. Рудик // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 111 –116.

131. Рудик В.Ю. Исследование изменения температуры биологической ткани при воздействии низкочастотного магнитного поля / В.Ю. Рудик // IX Международная конференция «Актуальные вопросы биологической физики и химии БФФХ - 2013», 22 - 26 апреля 2013 г. - Севастополь, 2013. - С. 47 - 49.

132. Терещенко М.Ф. Безконтактний температурний метод контролю впливу поля при магнітотерапії / Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю., Терещенко С.М. // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. - 2012. - № 43. - С. 147-153.

133. Черепнев И.А. Биологические эффекты при воздействии электромагнитных волн / И.А. Черепнев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2007. - вип. 3. - С. 118 - 124.

134. М. Ф. Терещенко, А. Ю. Кравченко, М. В. Чухраєв, А. Ю. Курлянцева, “Вплив ультразвуку терапевтичних інтенсивностей на кластерну структуру дистильованої води”, Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування, № 51 (1), с. 126-131, 2016.

135. Рудик В.Ю. Дослідження впливу магнітних полів на зміну температури поверхневих шарів епідермісу / В.Ю. Рудик // XI Міжнародна науково - технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», 2 - 4 листопада 2012 р. -Кременчук., 2012. - С. 54 - 55.

136. Пат. 74810 Україна, МПК А61В 5/00. Спосіб впливу на організм магнітним полем / Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю., Тимчик Г.С., Терещенко С.М.; заявник та патентовласник НТУУ «КПІ». - № у 2012 05263; заявл. 27.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.

137. Терещенко М. Ф. Багатофункціональні фізіотерапевтичні апарати комплексної дії / Терещенко М. Ф., Кулик З. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 40. – С. 159–165. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4377>

138. Рудик В.Ю. Оцінка теплової дії магнітного поля на біологічну тканину / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // XII міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи”, 23 - 24 квітня 2013 р. м. Київ, НТУУ “КПІ” ПБФ, Зб. тез доп., 2013. - С. 193 - 194.

139. Рудик В.Ю. Изменение динамических характеристик биологических тканей при воздействии магнитного поля / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // I Міжнародна науково-технічна конференція Сучасні проблеми фізики, хімії, біології «ФізХімБіо - 2012», 28 - 30 листопада 2012 р. м. Севастополь : Зб. тез доп., 2012. - С. 45 - 48.

140. Терещенко, М. Ф. Автоматизовані лікувально-діагностичні системи з адаптивним керуванням / Терещенко М. Ф., Чухраєв М. В. // XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 92 - 94. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33522>

141. В. Ю. Рудик Безконтактний тепловий контроль роботи магніто-терапевтичної апаратури / В. Ю. Рудик, М. Ф.Терещенко // XI Міжнар.

науково-техн. конф. «Приладобудування 2012: стан і перспективи», 24–25 квітня 2012 р. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2012. С. 193 – 194.

142. Високоточні джерела змінних магнітних полів : монографія / М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик, Т. О. Рудик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 156 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35984>

143. Пат. 97907 Україна, МПК А61N 2/04 Спосіб адаптивної імпульсної магнітотерапії / Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю., Рудик Т.О., заявник та патентовласник НТУУ “КПІ”. - № u 201411483; заявл. 22.10.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

144. Рудик В. Ю. Спосіб адаптивної магнітотерапії / В. Ю. Рудик, М. Ф. Терещенко, Т. О. Рудик // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Приладобудування. - 2016. - Вип. 51. - С. 139–144.

145. Рудик В.Ю. Аппарат магнитотерапии с контролем выходных параметров / В.Ю. Рудик, Н.Ф. Терещенко, Г.С. Тымчик // 7 Международная научно-техническая конференция «Приборостроение 2014», 19 - 21 ноября 2014 г., г. Минск, БНТУ: Сб. мат. конф. - Минск: БНТУ, 2014. - С. 129 - 131.

146. Рудик В.Ю. Апарат магнітотерапії «МИТ-11Т» з температурним реле / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Т.О. Рудик, М.В. Чухраєв // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів» 3-5 листопада 2017р., м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського : Зб. тез доп., 2017. - С. 82 - 84.

147. Рудик В.Ю. Моделивання лікувальної ефективності модифікації апарату «МИТ-11» / В.Ю. Рудик, Т.О. Рудик, О.Б. Поліщук // XV Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів» 7 - 9 листопада 2016 р., м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського : Зб. тез доп., 2016. - С. 141 - 142.

148. Рудик В.Ю., Терещенко Н.Ф., Рудик Т.А. Измерение магнитной индукции на индукторах аппарата для физиотерапии комбинированного «МИТ-11Т // Материалы 12 Международной научно- 88 технической конференции "Приборостроение – 2019", г. Минск, Республика Беларусь. Сборник тезисов докладов / БНТУ. – 2019. – С. 185-186.

149. Рудик, В.Ю. Експериментальні дослідження магнітної індукції на індукторах апарату «МИТ-11Т» / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Т.О. Рудик // «Приладобудування: стан і перспективи». Збірник тез доповідей XVIII Міжнародної науково-технічної конференції, 15 - 16 травня 2019 р. - Київ: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - С. 128 - 129.

150. Рудик, В.Ю. Зміна значень магнітної індукції на індукторах апарату «МИТ-11Т» / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Т.О. Рудик // «Приладобудування: стан і перспективи». Збірник тез доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції, 15 - 16 квітня 2018 р. - Київ: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - С. 118 – 119.

151. Рудик В.Ю. Розподіл магнітної індукції на індукторах апарату фізіотерапії «МИТ11» / Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф., Рудик Т.О. // Перспективні технології та прилади . Міжвузівський збірник . Випуск № 12 м. Луцьк червень 2018 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. - 196 с. С. 138 - 142.

152. Пат. 38906 Україна, МПК (2009) А61Н 23/00, А61N 1/00. Універсальний пристрій для ультразвукової терапії / Терещенко М. Ф., Осадчий О.В., Рудик В.Ю., Стельмах Н.В. - № u200810061; заявл. 04.08.2008 ; опубл. 26.01.2009, Бюл. 2.

153. Пат. 43204 Україна, МПК G01R 33/02 (2006.01) . Пристрій для відтворення періодичного імпульсного магнітного поля / Терещенко М. Ф., Рудик В.Ю. - № u200901601; заявл. 24.02.2009 ; опубл. 10.08.2009, Бюл. 15.

154. Пат. 47792 Україна, МПК G01R 33/02 (2006.01). Пристрій для створення однорідного магнітного поля / Терещенко М. Ф., Рудик В.Ю. - № u200908720; заявл. 19.08.2009 ; опубл. 25.02.2010, Бюл. 4.

155. Рудик В.Ю. Принципы построения высокоточных однородных мер магнитной индукции / В.Ю. Рудик, Н.Ф. Терещенко // 3 Международная студентческая научно-техническая конференция «Новые направления развития приборостроения», 21 - 23 апреля 2010 г., г. Минск.: Сб. тез. докл. - Минск: БНТУ, 2010. - С. 293.

156. Рудик В.Ю. Метрологічне забезпечення засобів магнітотерапії / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» 5 - 7 листопада 2010 р. м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського: Зб. тез доп. - Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського. - 2010. - С. 71 - 72.

157. Рудик В.Ю. Ефективність використання міри однорідного магнітного поля / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // V науково - технічна конференція студентів та аспірантів «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 1 грудня 2009 р. м. Київ, НТУУ “КПІ” ПБФ - ФММ: Зб. тез доп. - К.: ВПІ «Політехніка». - 2009. - С. 59.

158. Рудик В.Ю. Принципи побудови високоточних мір однорідного магнітного поля / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // XII Міжнародна молодіжна науково - практична конференція «Людина і космос», 7 - 9 квітня 2010 р., м. Дніпропетровськ: Зб. тез доп. - Дніпропетровськ., 2010. - С. 264.

159. Рудик В.Ю. Апарат для магнітофізіотерапії / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // II науково-практична конференція студентів та аспірантів “Погляд у майбутнє приладобудування”, 10 квітня 2009 р., м. Київ: Зб. тез доп. - К.: НТУУ “КПІ” ПБФ, 2009. - С. 105.

160. Пат. 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.

161. Пат. 91784 Україна, МПК А61N 2 / 04 (2006.01). Автоматизований апарат для магнітотерапії / Терещенко М.Ф., Кос О.С.; власник Терещенко Микола Федорович, Кос Олександр Сергійович. - № u 201310307; заявл. 12.03.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.

162. Рудик В.Ю. Дослідження лікувальної ефективності способу адаптивної імпульсної магнітотерапії / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Т.О. Рудик // XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» 6 - 8 листопада 2015 р., м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського : Зб. тез доп., 2015. - С. 86 - 88.

163. Tymchik G.S., Tereshchenko M.F., Soroka S.O., Tereshchenko M.M. Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object/ XIII International PhD Workshop OWD 2011, 22–25 October 2011 - с. 295 - 299.

164. Tsapenko V. Analysis of Dynamic Load on Human Foot / V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko, V. Shevchenko // *IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400 - 404, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088788.

165. Генезис біосигналів: метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт для студ. напряму підготов. 0909 «Прилади» спец. 8.090905 «Медичні прилади та системи» / Уклад.: М.Ф. Терещенко. - К.: НТУУ "КПІ", 2010. - 84с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26438>.

166. Цапенко В.В. Дослідження електропровідності біологічних тканин / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // XV Міжнародна науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: Матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ, 2016. – 180 с., С. 92-93.

167. Тимчик Г.С., Терещенко М.Ф., Вислоух С.П., Паткевич О.І. Дипломне проектування : метод. вказівки до викон. дипломних проектів для студ. напряму «Приладобудування» спец. «Медичні прилади і системи» усіх форм навчання. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 104 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32089>.

168. О.А. Малий, М.Ф. Терещенко Автоматизована система магніто-терапії в трансдермальній доставці фармацевтичних речовин //Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 13-14 травня 2020 р. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 216 - 219 . <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35198>.

169. М.Ф. Терещенко, М.В. Чухраєв, І.Є. Тарасюк, К.М. Терещенко, “Модульні адаптивні фізіотерапевтичні апарати”, на XVII Міжнародній науково-технічній конференції “Приладобудування: стан і перспективи”, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2018, с. 120 - 121.

170. Рудик В.Ю. Апарат магнітофототерапії з контролем фізіологічних параметрів організму людини / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко // XII Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів» 1 - 3 листопада 2013 р., м. Кременчук: КНУ імені Михайла Остроградського : Зб. тез доп., 2013. - С. 154 - 155.

171. Sergey Matvienko, Vadim Shevchenko, Mykola Tereshchenko, Anatolii Kravchenko, Ruslan Ivanenko (2020). Determination of composition based on thermal conductivity by thermistor direct heating method // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, ISSN 1729-3774, 1/5 (103), 2020, p. 19–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.193429.

172. Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф. Апарат для магнітофізіотерапії. Збірник тез доповідей II науково – технічної конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 10 квітня 2009 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2009. – с. 105.

173. Жулев В.И. Управление магнитотерапевтическим воздействием по показателю активности регуляторных систем / В.И. Жулев, О.В. Кирьяков // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2001. - №10. - С. 33 - 39.

174. Терещенко М. Ф. Дослідження електропровідності біологічних тканин / Терещенко М. Ф., Цапенко В. В., Чухраєв М. В. // Вісник НТУУ

«КПШ». Приладобудування : збірник наукових праць. – 2017. – Вип. 53 (1). – С. 87-94. – <https://ela.kpi.ua/handle/1234567812509/2>

175. Рудик В.Ю. Алгоритмізація процесу керування сигналом зворотного зв'язку в апараті магнітотерапії / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Т.О. Рудик // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування 2014: стан і перспективи», 24 - 25 квітня 2014 р. - К.: НТУУ «КПШ» ПБФ, 2014. - С. 160 - 161.

176. Рудик Т.О. Алгоритмізація адаптивного керування зворотним зв'язком в магнітотерапевтичному апараті локальної дії / Т.О. Рудик, М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Збірник наукових праць ЛНТУ «Перспективні технології та прилади», вип. 5 (листопад, 2014 р.) - Луцьк. - 2014. - С. 145 - 149.

177. Прошин Е.М. Методы и технические средства оперативной диагностики, синхронизации и биотехнической обратной связи в комплексной хрономагнитотерапии / Е.М. Прошин, Е.М. Григорьев, С.Г. Гуржин, В.Г. Кряков, О.В. Кирьяков // Биомедицинские технологии радиоэлектроника. - 2004. - №7. - С. 19 - 25.

Наукове видання

Терещенко Микола Федорович
Тимчик Григорій Семенович
Рудик Валентин Юрійович
Чухраєв Микола Вікторович
Рудик Тетяна Олександрівна

Автоматизовані магнітотерапевтичні апарати

Монографія

Комп'ютерне верстання *А. Корнієнка*

В авторській редакції

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Перемоги, 37,
м. Київ, 03056

Підп. до друку 12.11.2020. Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 15,81. Обл.-вид. арк. 25,13. Наклад 40 пр.
Поз. 20-3-1-010. Зам. № 20-096.

Видавництво «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ, 03056
тел. (044) 204-81-78



Терещенко Микола Федорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Науковими інтересами є дослідження впливу фізичних полів і сигналів на біологічні тканини та розробка методів і засобів фізіотерапії. Автор понад 350 наукових публікацій, 5 монографій і підручників та 125 патентів.



Тимчик Григорій Семенович – доктор технічних наук, професор, декан приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Науковими інтересами є створення спеціалізованих лазерних інформаційно-вимірювальних систем для контролю технічного стану і параметрів динамічних об'єктів, створення нового класу спектрально-кореляційних лазерних систем на основі пасивних резонаторів Фабрі–Перо для оперативного контролю якості деталей і стану технологічного обладнання у прецизійному приладобудуванні. Автор понад 447 наукових публікацій, 35 монографій і 78 винаходів.



Рудик Валентин Юрійович – інженер Інституту прикладних проблем фізики та біофізики НАН України. Науковими інтересами є дослідження впливу магнітного поля на біологічну тканину та адаптивні апарати магнітотерапії. Автор 40 наукових публікацій та 6 патентів.



Чухраєв Микола Вікторович – канд. техн. наук, доктор наук в області медичної психології, директор ТОВ «Науково-методичний центр «Медінтех». Науковими інтересами є дослідження і розробки в галузі природничих наук, медичної психології, а також методів та засобів медичного приладобудування для фізіотерапії, медичної реабілітації та косметології. Автор понад 107 наукових публікацій, 57 монографій та 106 винаходів.



Рудик Тетяна Олександрівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри математичної фізики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Науковими інтересами є магнітотерапія, аналітичне та екологічне приладобудування. Автор 73 наукових публікацій та 1 патенту.