

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

«На правах рукопису»

УДК 615.647.8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



«18» грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
на тему: «Вплив магнітного поля на температурні параметри
біологічних тканин»**

Виконала:

студент VI курсу, групи ПБ-371мп
Нагасва Беата Едуардівна



Керівник:

к.т.н., доцент, Терещенко М.Ф.



Консультант з розроблення стартап-проекту:

к.е.н., Бояринова К.О.



Рецензент:

Професор, д.т.н., Киричук Ю.В.



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент 

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет)	Приладобудівний
	<small>(повна назва)</small>
Кафедра	Виробництва приладів
	<small>(повна назва)</small>
Рівень вищої освіти –	другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність	152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
	<small>(код і назва)</small>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



(підпис) (ініціали, прізвище)

«21» вересня 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Нагаєвій Беаті Едуардівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Вплив магнітного поля на температурні параметри біологічних тканин»

науковий керівник Терещенко Микола Федорович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

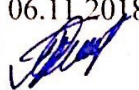
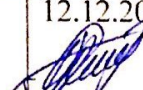
затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. №4098-с

2. Строк подання студентом дисертації 05 грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: температурні процеси в біологічній тканині при взаємодії з джерелом магнітного поля

4. Предмет дослідження: залежності значень температурних параметрів біологічних тканин від параметрів діючого магнітного поля
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Огляд, аналіз та класифікація методів та засобів магнітотерапії; 2) Математична модель взаємодії магнітного поля з біологічною тканиною (БТ); 3) Розробка методики та складання експериментальної установки для виміру змін температур в біологічних тканинах при дії магнітного поля; 4) Проведення експериментальних досліджень з виміру градієнта температур; 5) Обробка та аналіз отриманих результатів. Висновки.
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Характер взаємодії магнітного поля з БТ, математична модель взаємодії магнітного поля з біологічною тканиною, структурна схема експерименту, експериментальна установка, результати експерименту та інші.
7. Орієнтовний перелік публікацій: стаття в Збірнику праць XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 4-5 грудня 2018 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О..к.е.н., доцент	06.11.2018 	12.12.2018 

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Обґрунтування актуальності теми дослідження.	20.09.-24.09.2018	
2.	Формулювання мети та задач дослідження.	24.09-26.09.2018	
3.	Визначення об'єкту та предмету дослідження.	26.09.-27.09.2018	
4.	Огляд методів та засобів виміру магнітного поля лазерного випромінювання. Сучасний стан та проблеми.	27.09-05.10.2018	
5.	Підбір літератури	06.10-31.10.2018	
8.	Розробка плану експерименту.	10.10.-12.10.2018	
9.	Проведення досліджень. Обробка отриманих результатів.	12.10-19.10.2018	
11.	Опис ходу проведення досліджень.	19.10-20.10.2018	
12.	Обробка, аналіз та висновки за результатами досліджень.	20.10-31.10.2018	
13.	Написання висновків та рекомендацій до роботи	01.11.-10.11.2018	
14.	Розробка стартап-проекту	10.11.-15.11.2018	
15.	Оформлення ілюстративного матеріалу пояснювальної записки.	05.12.2018	

Студент



Б.Е. Нагаєва

(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації



М.Ф. Терещенко

(підпис) (ініціали, прізвище)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

«На правах рукопису»

УДК 615.647.8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

« » грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
на тему: «Вплив магнітного поля на температурні параметри
біологічних тканин»**

Виконала:

студент VI курсу, групи ПБ-371мп

Нагаєва Беата Едуардівна

Керівник:

к.т.н., доцент, Терещенко М.Ф.

Консультант з розроблення стартап-проекту:

к.е.н., Бояринова К.О.

Рецензент:

Професор, д.т.н., Киричук Ю.В.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет)	Приладобудівний
	<hr/> <small>(повна назва)</small>
Кафедра	Виробництва приладів
	<hr/> <small>(повна назва)</small>
Рівень вищої освіти –	другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність	152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»
	<hr/> <small>(код і назва)</small>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» вересня 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Нагаєвій Беаті Едуардівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Вплив магнітного поля на температурні параметри біологічних тканин»

науковий керівник Терещенко Микола Федорович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. №4098-с

2. Строк подання студентом дисертації 05 грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: температурні процеси в біологічній тканині при взаємодії з джерелом магнітного поля

4. Предмет дослідження: залежності значень температурних параметрів біологічних тканин від параметрів діючого магнітного поля

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Огляд, аналіз та класифікація методів та засобів магнітотерапії; 2) Математична модель взаємодії магнітного поля з біологічною тканиною (БТ); 3) Розробка методики та складання експериментальної установки для виміру змін температур в біологічних тканинах при дії магнітного поля; 4) Проведення експериментальних досліджень з виміру градієнта температур; 5) Обробка та аналіз отриманих результатів. Висновки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Характер взаємодії магнітного поля з БТ, математична модель взаємодії магнітного поля з біологічною тканиною, структурна схема експерименту, експериментальна установка, результати експерименту та інші.

7. Орієнтовний перелік публікацій: стаття в Збірнику праць XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 4-5 грудня 2018 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О., к.е.н., доцент	06.11.2018	12.12.2018

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Обґрунтування актуальності теми дослідження.	20.09.-24.09.2018	
2.	Формулювання мети та задач дослідження.	24.09-26.09.2018	
3.	Визначення об'єкту та предмету дослідження.	26.09.-27.09.2018	
4.	Огляд методів та засобів виміру магнітного поля лазерного випромінювання. Сучасний стан та проблеми.	27.09-05.10.2018	
5.	Підбір літератури	06.10-31.10.2018	
8.	Розробка плану експерименту.	10.10.-12.10.2018	
9.	Проведення досліджень. Обробка отриманих результатів.	12.10-19.10.2018	
11.	Опис ходу проведення досліджень.	19.10-20.10.2018	
12.	Обробка, аналіз та висновки за результатами досліджень.	20.10-31.10.2018	
13.	Написання висновків та рекомендацій до роботи	01.11.-10.11.2018	
14.	Розробка стартап-проекту	10.11.-15.11.2018	
15.	Оформлення ілюстративного матеріалу пояснювальної записки.	05.12.2018	

Студент

_____ Б.Е. Нагаєва

(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

М.Ф. Терещенко

(підпис) (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 108 сторінок.

Кількість ілюстрацій: 34 ілюстрацій.

Кількість таблиць: 24 таблиць.

Кількість джерел за переліком посилань: 82 джерел.

Актуальність теми

В сучасному медичному приладобудуванні досить велику нішу займають апарати дія яких заснована на впливі магнітного поля. Біофізики і лікарі, які вивчають фізіологічні процеси, що відбуваються під впливом магнітного поля в організмі людини, перш за все, відзначають його вплив на систему кровообігу, стан кровоносних судин, активність перенесення кисню через кров, транспортування поживних речовин через напівпроникні мембрани клітин. Поки, незважаючи на безліч різних областей застосування і достаток випускаються приладів, магнітотерапія, мабуть, не піддається настільки точному поясненню, щоб воно могло відповідати суворим вимогам науковості. Для отримання дійсно наукових результатів, які могли б бути опубліковані в серйозних медичних журналах, необхідні глибокі дослідження в провідних медичних центрах.

Для розробки нових типів магнітофізіотерапевтичних апаратів необхідна нова концепція побудови таких апаратів з можливістю керування параметрами діючого магнітного поля, оцінка впливу магнітного поля на біологічний об'єкт, розділення постійної, змінної та імпульсної складових магнітного поля в самому індукторі та досліджуваному комплексі «вихідний індуктор-біологічна тканина» та врахування об'єктивної оцінки дії магнітного поля на біологічне середовище.

Такою оцінкою дії магнітного поля може бути зміна параметрів температур біологічного середовища під час проведення фізіопроцедури. А завдання сьогодення – це створення адаптивних апаратів, що забезпечують формування різних просторових структур магнітних полів більш складної

форми, що змінюються в часі з природними біологічними ритмами людини і характером протіканням реальних фізіологічних процесів.

Мета й завдання дослідження

1. **Мета дослідження** – встановлення змін температурних параметрів біологічних тканин (БТ) при дії магнітного поля магнітотерапевтичних апаратів.

2. Завдання дослідження:

a. Огляд, аналіз та класифікація методів та засобів виміру магнітного поля;

b. Математична модель взаємодії магнітного випромінювання з шарами біологічної тканини;

c. Проведення експериментів по виміру параметрів магнітного поля та температурних показників. Обробка та аналіз отриманих результатів.

Об'єкт дослідження

Температурні процеси в біологічній тканині при взаємодії з джерелом магнітного поля.

Предмет дослідження

Залежності значень температурних параметрів біологічних тканин від параметрів діючого магнітного поля.

Методи дослідження

В роботі використовувались різні аналітичні методи математичного моделювання, методи біометрії для обробки результатів експериментів, методи статичного аналізу, а саме методи числової апроксимації та інтерполяції отриманих значень, температурної залежності біологічних тканин від діючого магнітного поля різної інтенсивності.

Методика реалізації поставлених задач

Поставлені задачі вирішуються шляхом математичного представлення моделі взаємодії магнітного поля з тканиною та розробки експериментальної установки, виконання досліджень з послідовними математичними розрахунками та аналізом отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів

Встановлено залежність зміни градієнта температур БТ від дії магнітного поля та часу впливу. Результати досліджень будуть використати для розробки адаптивних апаратів магнітотерапії.

Апробація результатів дисертації.

Результати досліджень отримані в даній магістерській дисертації були оприлюднені на:

- XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 4 грудня 2018 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Публікації

1. Б.Е. Нагаєва. Влив 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.
2. Заявка на патент України **u 2018 10306** «Спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії».

Abstract

Actuality

In the modern medical device a rather large niche is occupied by devices whose action is based on the influence of the magnetic field. Biophysics and physicians who study the physiological processes occurring under the influence of magnesium in the human body, most notably, note it in the float on the circulatory system, the state of blood vessels, the activity of the transfer of oxygen through the blood, the transport of nutrients through the semipermeable cell membrane . So far, despite the many different applications and abundance of manufactured devices, magnetotherapy, apparently, can not be so precise explanation that it could meet the strict requirements of scientific. In order to obtain truly scientific results that could be published in serious medical journals, deep research in leading medical centers is required .

To develop new types of magneto- physiotherapeutic devices, a new concept is needed for the construction of such devices with the possibility of controlling the parameters of the active magnetic field, the evaluation of the influence of the magnetic field on the biological object, the separation of the constant, variable and pulse component of the magnetic field in the inductor itself and the investigated complex "output inductor-biological fabric "and taking into account the objective evaluation of the effect of the magnetic field on the biological environment.

Such an assessment of the magnetic field can be a change in the parameters of the biological environment during the conduct physiotherapy. And from the present, it is the creation of adventitious devices that provide the formation of various spatial structures of magnetic fields of a more complex form, changing in time with the natural biological rhythms of man and the nature of the course of real physiological processes.

The purpose and tasks of the study

1. **The purpose of the study** - in the formation of changes in the temperature parameters of biological tissues under the influence of magnetic field for the improvement of magnetic therapy devices.

2. **Research objective :**

- a. Review, analysis and classification of methods and instruments for measuring magnetic field;
- b. Mathematical model of interaction of magnetic radiation with layers of biological tissue;
- c. Conducting experiments on measurement of parameters of a magnetic field and temperature indices. Processing and analysis of the results.

Object of study

Temperature processes in biological tissue when interacting with a source of a magnetic field.

Subject of study

Dependences of the values of temperature parameters of biological tissues on the parameters of the active magnetic field.

Research methods

Assessment of existing methods and principles of constructing modern magneto - physiotherapeutic devices in order to compare their influence on temperature parameters of biological tissues. An estimation of the influence of the magnetic field (MP) on biological tissues (BT), the establishment and distribution of the components of the magnetic field in the source inductors and the investigated object «output inductor-biological tissue» in the magnetophysiotherapeutic apparatus (MFTA) «MAG-30», "MIT-11" and the characters of the changes in the values of the temperature of biological tissue during the physiotherapeutic procedure.

Method of realization of the set tasks

The tasks are solved by mathematical representation of the model of the interaction of the magnetic field with the fabric and the development of an experimental installation, the implementation of studies with sequential mathematical calculations and analysis of the results.

Scientific novelty of the obtained results

The dependence of the change of the temperature gradient BT on the action of the magnetic field and the time of influence was established . These studies will be used to develop adaptive magnetic therapy devices .

Approbation of the results of the dissertation.

The research results obtained in this master's thesis were published on :

- XIV All- Ukrainian Scientific-Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Efficiency of Engineering Solutions in Instrumentation" December 4, 2018, Kiev, PBF, NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytech Institute".

Publications

1. B.E. Nahaieva. Influence of the magnetic field on the temperature parameters of biological tissues / Nahiaeva B.E., Tereshchenko M.F. // Collection of works XIV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Efficiency of Engineering Solutions in Instrumentation" December 4-5, 2018, Kiev, PBF, "Igor Sikorsky Kyiv Polytech Institute", - 2018. - p.298-301.

2. Application for a patent "Method of low-intensity pulse magnetotherapy".

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1. РОЗВИТОК МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МАГНІТОТЕРАПІЇ... 16	
1.1. Розвиток апаратних засобів магнітотерапії.....	16
1.2. Магнітні поля та їх класифікація.....	18
1.3. Основні параметри магнітного поля	24
1.4. Характер впливу магнітного поля на живий організм	29
1.5. Стан розвитку магнітофізіотерапевтичної апаратури.....	31
1.5.1. Особливості використання магнітотерапевтичної апаратури	31
1.5.2 Магнітофізіотерапевтичні апарати локальної дії	34
1.5.3. Магнітофізіотерапевтичні апарати розподіленої дії	39
1.5.4. Магнітофізіотерапевтичні апарати загальної дії	42
1.6. Індукційні системи магнітотерапевтичної апаратури.....	44
Висновки до розділу 1	54
РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНОЇ АПАРАТУРИ	55
2.1 Математична модель взаємодії.....	55
2.2 Магніточутливість організму.....	60
2.3 Принципи створення змінного магнітного поля.....	62
2.3.1 Математична модель динамічної системи	64
2.3.2 Аналіз роботи математичної моделі	66
Висновки до розділу 2	68
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНУ ТКАНИНУ	69
3.1. Переносний апарат для низькочастотної магнітотерапії «МАГ-30-4». 69	
3.2. Магнітофізіотерапевтичний апарат «МИТ-11»	71
3.2.1 Функціональна схема «МИТ-11»	72
3.2.2. Схема електрична принципова «МИТ-11».....	74
3.2.3. Технічні характеристики апарату.....	74

3.3. Спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії.....	75
3.4. Експериментальні дослідження впливу магнітного поля на температуру біологічної тканини	79
3.4.1. Оцінка змін значень температур біологічної тканини при роботі з МТА «МАГ-30-4»	81
3.4.2. Оцінка змін значень температур біологічної тканини при роботі з МТА «МИТ-11».....	84
Висновки до розділу 3	86
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СПОСІБ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОЇ ІМПУЛЬСНОЇ МАГНІТОТЕРАПІЇ»	87
4.1 Опис ідеї проекту	87
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	89
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	89
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	95
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	97
4.6 Висновки до розділу 4	98
ВИСНОВОК ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	100
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	101
ДОДАТКИ.....	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- МП – магнітне поле;
- МТА – Магнітотерапевтична апаратура;
- ЗМП – Змінне магнітне поле;
- ІМП – Імпульсне магнітне поле;
- ПМП – Постійне магнітне поле;
- ПУМП – Пульсуюче магнітне поле;
- ОМП – Магнітне поле, що обертається;
- ВМП – Випадкове магнітне поле;
- МФТА – Магнітофізіотерапевтична апаратура;
- КМТ – Комплексна магнітотерапія;
- СКМ – Системи комплексної магнітотерапії;
- ГМПЗ – Геомагнітне поле землі;
- ПБК – Плоска безкаркасна котушка.
- ТА – Точки акупунктури;
- СМП – скалярний магнітний потенціал;
- ПФС – Поліформующа система;
- ІМФТА – Імпульсна магнітофізіотерапевтична апаратура;
- ЗММІ – Зразкова міра магнітної індукції.

ВСТУП

Широке поширення в різних галузях науки і техніки, особливо в біології і медицині отримали магнітні поля (МП) й магнітні методи контролю. Біологічна наука першої половини ХХ століття упевнено описувала життєві функції, зовсім не враховуючи існування МП. Більш того, деякі біологи вважали потрібним підкреслити, що навіть сильне штучне МП не робить жодного впливу на біологічні об'єкти.

Останніми роками в Україні та за кордоном інтенсивно розвивається магнітотерапія, що базується на лікувально-профілактичному використанні МП. Багаточисельні експериментальні дослідження і клінічні спостереження вказують на високу терапевтичну ефективність МП, хорошу їх сумісність з іншими лікувальними засобами. Як фізіологічна, так і лікувальна дія МП різноманітна, істотно залежить від параметрів та методів використання. Тому, не дивлячись на велику кількість публікацій, багато питань магнітотерапії залишаються нез'ясованими та вимагають обговорення і дослідження. Актуальною проблемою магнітотерапії робить і постійна поява нових магнітотерапевтичних апаратів, методів і способів використання МП.

Лікувальні МП мають велике різноманіття за законом зміни в часі, частотному спектру, по видах і розподілення в просторі. МП, що створюються технічними засобами, що включають полеформуєчий індуктор і пристрій керування ним. По функціональних можливостях, рівню структурної складності і технології взаємодії засобів з тканинами і організмом їх можна розділити на інструментальні вироби (наприклад, магнітні кліпси, браслети) та апарати і системи [1]. Вироби і апарати, як правило, надають місцеву дію на невелику область тіла, окремий орган або осередок ураження. Магнітотерапія базувалася на уявленнях, головним чином, фізико-хімічного і енергетичної дії поля на клітинно-молекулярному рівні. Дані уявлення, на жаль, до цих пір не мають достовірних кількісних описів, що пов'язане з недостатньою вивченістю механізму дії локальних полів, складністю їх задання і математичного опису.

Не дивлячись на неповну вирішеність теоретичних і практичних завдань терапії при локальній дії, в даний час інтенсивно розвивається магнітотерапія, заснована на дії полів на весь організм. Вона забезпечує вищий біологічний і лікувальний ефект. На прикладі магнітотерапії легко показати необхідність комплексного підходу в методології дослідів і лікування при дії полем на весь організм.

Далі називатимемо комплексною магнітотерапією (КМТ), а структури медико-технологічних, технічних і організаційних засобів, реалізуючих КМТ, відповідно, системами комплексної магнітотерапії (СКМ).

Важливою проблемою магнітотерапії є проблема задання і опису магнітного поля, розташування біооб'єкту в нім і представлення картини поле-пацієнт. Що ж до полів загальної дії, де, як правило, використовуються імпульсні поля, що протікають або обертаються, проблема математично опису, формування і представлення поля переростає в достатньо складну проблему, що не дозволяє ефективно використовувати і зв'язати багаточисельні характеристики і варіації поля. У зв'язку з цим виникає завдання створення зразкового магнітного поля з заданими параметрами, його нормування, вимірювання основних його параметрів і представлення математичного опису поля, з його дією і накладенням на біооб'єкт, що як не парадоксально, в системах загальної дії може бути реалізовано більш продуктивно, ніж в апаратах локальної дії. Комплексність магнітотерапії ще більш випукло демонструється сучасною клінічною практикою використання комбінованих методів і процедур. Набули широкого поширення магнітолазеротерапія, термобаромагнітотерапія, магнітотерапія на тлі медикаментозного лікування. Але при цьому виникають ще складніші питання вивчення і опису механізму дії на організм послідовності або аддитивної дії два, три і більш чинників в різних поєднаннях параметрів, форм і рівнів, з завданням управління взаємодією і його оптимізації, з точки зору ефективності фізіотерапевтичної процедури.

РОЗДІЛ 1. РОЗВИТОК МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МАГНІТОТЕРАПІЇ

1.1. Розвиток апаратних засобів магнітотерапії

Інтенсивне накопичення нових даних про дію МП на біологічні об'єкти та людину і тварину, методи і багаточисельні прецеденти вживання МП в медичній практиці зумовили потребу в широкому обговоренні і узагальненні наукової інформації для координації подальших досліджень. З 1965 році було визначено магнітобіологію в ролі одного з напрямлень медичної науки, а магнітотерапію, як досить перспективний метод фізіотерапії.

Становлення магнітобіології як науки, супроводжувалося створенням нових і вдосконаленням вже наявних технічних джерел магнітних полів. В кінці 60-х років в був сконструйований на теренах СРСР перший апарат для промислового виробництва «Полюс-1», який став серійно випускатися з 1975 р. Дещо пізніше з'явилися його модифікації («Полюс-2», «Полюс-101»), а також апарати інших моделей: «Алімп- 1», «Маг-30», «Градiєнт-1», «ПДМТ-01» і ін[2,4]. Слід відзначити, що всі вони призначалися для місцевої дії на уражений орган.

В Рязанському радіотехнічного інституту був вибраний напрям по створенню магнітотерапевтичних апаратів загальної дії. У сімдесятих роках його співробітниками в співдружності з науковцями медичного інституту був створений макетний зразок ммагнітотерапевтичного апарату загальної дії «Зірка», за допомогою якого були перевірені обґрунтованість основних принципів побудови подібних апаратів, його лікувальний ефект і технологія проведення фізіотерапевтичних процедур. Отримані дані дозволили розробити і створити досконаліший магнітотерапевтичний апарат, який під назвою «Аврора МК-01» випускався з 1991 р. Пройшов незалежні клінічні випробування і став вироблятися серійно [2,3,5].

У останні десятиріччя широке поширення отримали імпульсні магнітотерапевтичні прилади. У багатьох наукових центрах проводяться

дослідження по вивченню впливу магнітних полів на біологічні системи. Одним з основних ефектів дії імпульсного магнітного поля є генерація індукційних струмів - магнітна стимуляція. Вона має ряд найважливіших переваг в порівнянні з прямою електростимуляцією [6]:

1. Відсутні електроди, які викликали неприємні відчуття і роздратування шкіри;
2. Безконтактність дії, що дозволяє проводити процедури через пов'язки, одяг і т.д.;
3. Замкнутість ліній струму і їх концентрація поблизу індуктора, роблять дію просторово зосередженою і гостронаправленою (локальною, адресною).

Дія на організм може бути як високо-, так і низькоамплітудними імпульсами. Високоамплітудна стимуляція – це вплив індукцією поля близько 1 Тл і довжиною імпульсу менше 1 мс (апарат «Сету») [7]. Сильний імпульс стимулює настільки значне зрушення трансмембранного потенціалу клітки, що одночасно множина нервових імпульсів (спайков) починають рух по нервових волокнах, що піддалися стимуляції. При одночасному спрацьовуванні багатьох нейронів ефект стимуляції очевидний: людина відчуває енергетичний удар.

Низькочастотна стимуляція-це індукція поля менше 100 мТл (0,1 Тл) і тривалість імпульсу більш 1мс і частотою до 1000 Гц. Вплив низькочастотної стимуляції (підпороговою) виявляється як довготривала зміна режиму роботи стимулюючого органу. При процедурі нервові волокна, ганглії, сплетення знаходяться під дією імпульсних магнітних полів і індукованих ними струмів; самі по собі струми невеликі, аби генерувати нервові імпульси, але вони викликають посилення збудливості нейронів, включених в контролюючу нервову систему. Існують прилади, що мають магнітні поля з індукцією близько 1 Тл, тобто ті, що слугують для високоамплітудної стимуляції (Сету, Неотонус). Це груба, жорстка, ударна дія на тканину, орган; при цьому йде стимуляція периферичної нервової системи з

подальшим різким скороченням м'язів тих або інших органів (стимуляція подовжніх м'язів сечового міхура при порушенні його уренофункції). Принцип роботи приладів такого класу заснований на дуже короткому імпульсі-0,01 мс. Є ціла група апаратів, заснованих на так званому «резонансному» принципі, що є однією з теорій дії магнітних полів, що широко вивчаються. Велика робота виконана в цьому напрямі польською фірмою «Vita life», що пропагує апарат MRS-2000. При цьому дуже невелике магнітне поле правильної спеціальної форми, як стверджують автори, викликає позитивні стимулюючі ефекти у всьому організмі, а саме про це йде мова, оскільки людина лежить на спеціальному магнітному матрасі. При цьому слід зазначити, що магнітна чутливість представляє циклічні зміни, які знаходяться під впливом як природних зовнішніх полів, так і процесів, що відбуваються усередині організму [6, 8].

Встановлено, що вплив магнітотерапії на міжсистемний рівень полягає в інформаційно-енергетичному ефекті магнітної дії на біологічні системи, що досягається за рахунок збільшення швидкостей біохімічних реакцій і змінних процесів в зоні дії, стимуляції регенерації і підвищення збудливості нервово-м'язових процесів, поліпшення мікроциркуляції [9].

Таким чином, до теперішнього часу в країнах СНД і Росії та за кордоном створено близько 100 різних апаратів і систем, що генерують різні МП [10].

1.2. Магнітні поля та їх класифікація

Земля є постійним магнітом і створює так незалежне геомагнітне поле Землі (ГМПЗ) з індукцією близько 50 мкТл. ГМПЗ носить стаціонарний характер і є для людини в будь-якій точці Землі однорідним і рівномірним, оскільки розміри людини нікчемно малі в порівнянні з розмірами джерела.

Разом з наявністю стаціонарного ГМПЗ, на Земній кулі можлива поява нестаціонарних МП. В першу чергу до них слід віднести так звані магнітні бурі, джерелом виникнення яких є енергетичні взаємодії з Сонцем планет Сонячної системи, у тому числі і Землі. При магнітних бурях, в основному,

формується поля вихрової структури. Окрім них слід враховувати такий природний феномен, як грозові розряди, породжуючі потужні магнітні імпульси дуже широких спектрів. Окрім стаціонарних і нестаціонарних МП природного походження в останні десятиліття реальними чинниками дії стають штучні постійні і змінні магнітні поля, створювані промисловими об'єктами: електростанціями, лініями електропередач, прискорювачами часток, потужними радіопередавальними пристроями, комутаторами енергомереж, транспортом і іншими технічними пристроями [1].

В усіх точках простору, що оточує рухомий електричний заряд (електричний струм), завжди існує поле сил, яке називаємо магнітним полем. Між системами довільних струмів виникають механічні сили взаємодії, тобто магнітне поле володіє силовою дією на рухомі заряди або струми. Вичерпуючою характеристикою магнітного поля, що описує його положення в кожній точці простору, є вектор напруженості поля H . Оскільки магнітне поле, на відміну від електричного, збуджується не магнітними зарядами (їх не існує), а рухом електричних зарядів, то магнітні силові лінії не можуть ні починатися, ні закінчуватися ні в яких точках поля. Отже магнітні силові лінії можуть бути або замкнутими, або тягнутися з нескінченності в нескінченність. Постійне магнітне поле утворюється постійним електричним струмом або збуджується постійним магнітом. Поле постійних магнітів (намагнічених магнетиків), як і всяке магнітне поле, створюється циркулюючими в магнетику електричними струмами і складається з поля молекулярних струмів, магнітних моментів струмів, відповідних орбітальному руху електронів, і з дипольних магнітних моментів спінів електронів.

У системі, що характеризується змінним струмом або змінним зарядом, виникає електромагнітне поле, що має дві компоненти: електричну і магнітну складові. Стан такої системи описується рівняннями Максвелла [10, 11]:

$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1.1)$$

$$\operatorname{rot}H = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \cdot j, \quad (1.2)$$

де j - вектор щільності струму провідності, c -швидкість світла у вакуумі.

З цих рівнянь виходить, що будь-яка зміна магнітної складової поля породжує зміна електричній складовій і навпаки.

Електромагнітне поле має енергією W_{EM} , яка залежить від його параметрів описується рівнянням[11]:

$$W_{EM} = \frac{1}{8\pi} \int DEdV + \frac{1}{8\pi} \int HBdV, \quad (1.3)$$

де E і B - вектори електричної і магнітної індукції поля, V -об'єм простору, займаного полем, і складається з двох компонент: електричної і магнітної. Співвідношення між компонентами залежить від фізичної природи джерела поля і від відстані до цього джерела. Встановлено, що на відстані довжини хвилі λ від джерела випромінювання поле має яскраво виражений електричний або магнітний характер з перевагою енергії однієї з компонент. На відстані (5...6) λ від джерела поле приймає плоску конфігурацію і поширюється у вигляді плоскої хвилі, енергія якої порівну розподіляється між електричною і магнітною складовими. Магнітні поля 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) [12].

У всіх відомих на сьогоднішній день магнітотерапевтичних апаратах і системах змінне електромагнітне поле збуджується або за допомогою індукторів-соленоїдів, або за допомогою індукторів-електромагнітів в діапазоні частот від інфранизьких до 10 кГц. Довжина хвилі, відповідна частоті 10 кГц, складає 30 мкм. Отже, у всіх вживаних в медицині апаратах для магнітотерапії дія здійснюється практично чистим магнітним полем. Більш того, з теоретичної точки зору, враховуючи геометричні розміри людини, індуктивні джерела електромагнітного випромінювання

володітимуть подібною дією на частотах до 10 МГц. На вищих частотах необхідно буде враховувати розподіл енергії між електричною і магнітною компонентами електромагнітного поля.

Окрім цього слід пам'ятати, що жива тканина в електричному відношенні є провідник і, тому, практично прозора для магнітного поля. Дослідження показали, що глибина проникнення МП в провідне середовище, аналогічне живій тканині, на частотах 10 Гц і 10 кГц складає відповідно 120 і 4 м, що набагато перевищує габарити людини. Ослаблення інтенсивності поля в біооб'єкті на відстані 0,2 м від поверхні тіла складає для цих частот всього 0,2% і 5%.

Постійним магнітним полем (ПМП) є поле, індукція якого не змінюється в часі. У кожній точці простору вектор магнітного поля залишається постійним за значенням і напрямом. ПМП утворюється або постійним магнітом, або постійним електричним струмом, що протікає по якому-небудь провідникові. Будь-яке джерело ПМП має два полюси: північний і південний.

Змінне магнітне поле (ЗМП) утворюється за допомогою індукторів при живленні їх змінними струмами. У ЗМП в кожній точці простору змінюються як значення, так і напрям вектора магнітної індукції відповідно до закону зміни струму. Окремим випадком ЗМП є синусоїдальне магнітне поле, яке створюється при живленні індуктора від промислової мережі змінного струму або від спеціального генератора синусоїдальних коливань. Таке поле є моногармонійним. Більшість промислово випускаємих магнітотерапевтичних апаратів або безпосередньо живляться від мережі змінного струму, або мають в одному з режимів живлення синусоїдальним струмом. Тому в існуючій науково-технічній літературі абревіатура «ЗМП» відноситься, в основному, саме до синусоїдальних магнітних полів.

Пульсуюче магнітне поле (ПУМП)-окремий випадок змінного поля, в якого вектор магнітної індукції змінюється по рівню, але не змінюється по напрямку. Таке поле утворюється в індукторі при живленні його пульсуючим струмом, що виходить, наприклад, в результаті одно- або двонапівперіодного

випрямлення. ПУМП являється полігармонічним, його спектр містить декілька гармонійних складових [13].

Магнітне поле (ОМП), що обертається, характеризується тим, що вектор магнітної індукції переміщається в просторі (наприклад, відносно поверхні формотворного циліндра). Поле, що обертається, може бути як моногармонійним, так і пульсуючим. Створюється ОМП з допомогою трьох- або багатофазних перетворювачів. При цьому індуктори повинні розташовуватися або по колу (для локальних дій), або по створюючій циліндра (для загальних дій). Використання ОМП дозволяє індукувати в електролітах одно напрямлені електрорушійні сили, тобто забезпечувати направлене переміщення електрично заряджених часток, що у ряді випадків істотно підвищує ефективність лікування.

Імпульсне магнітне поле (ІМП) формується за допомогою індукторів при живленні їх імпульсним струмом заданої форми. У лікувальній практиці застосовуються різні форми імпульсів як моно-, так і біполярні. Крім того, імпульси характеризуються тривалістю, частотою (періодом повторення) або шпаруватістю. ІМП володіють широким частотним спектром і відрізняються більшою біологічною активністю. Ритмічний характер процесів в органах і тканинах і імпульсна терапія співзвучні, тому імпульсні дії легше «засвоюються» організмом.

На рис. 1.1 представлена класифікація магнітних полів природного і штучного походження. У ній виділена група випадкових магнітних полів (ВМП). Передбачається, що неорганізовані хаотичні магнітні поля можуть негативно діяти на організм, викликаючи у здорових людей відчуття внутрішнього дискомфорту, у хворих-пригноблення функціональної активності, а у ряді випадків-серйозніші ускладнення. В той же час є підстави передбачати, що що змінюються випадковим чином магнітні поля-ВМП, зформовані штучно з рядом заданих характеристик (щільність розподілу вектора магнітної індукції, спектральна щільність потужності і ін.), орієнтовані відносно ураженого органу або всього тіла людини і впливаючі

за заданою програмою, володіють загальнозміцнюючою і терапевтичною дією і можуть бути також використані для лікування. Для посилення магнітобіологічної активності штучних магнітних полів в практиці магнітотерапії використовують додаткові прийоми: комбінації змінного і постійного поля (постійний фон), модуляцію низькочастотних змінних полів більш високочастотними складовими, 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 поля з біоелементами і частками активнішим. Різновиди магнітних полів, які можуть бути отримані в результаті можливих комбінацій частотно-тимчасових параметрів, відображені на рис. 1.2.

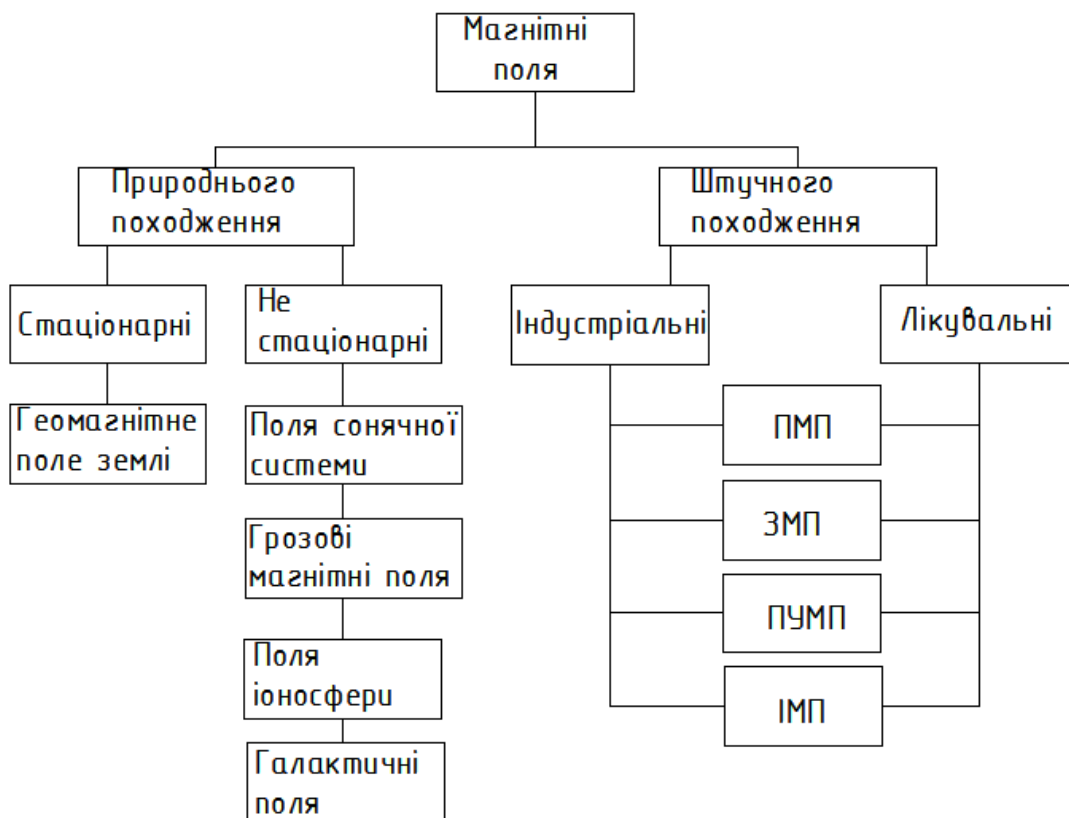


Рис.1.1. Класифікація магнітних полів [13]

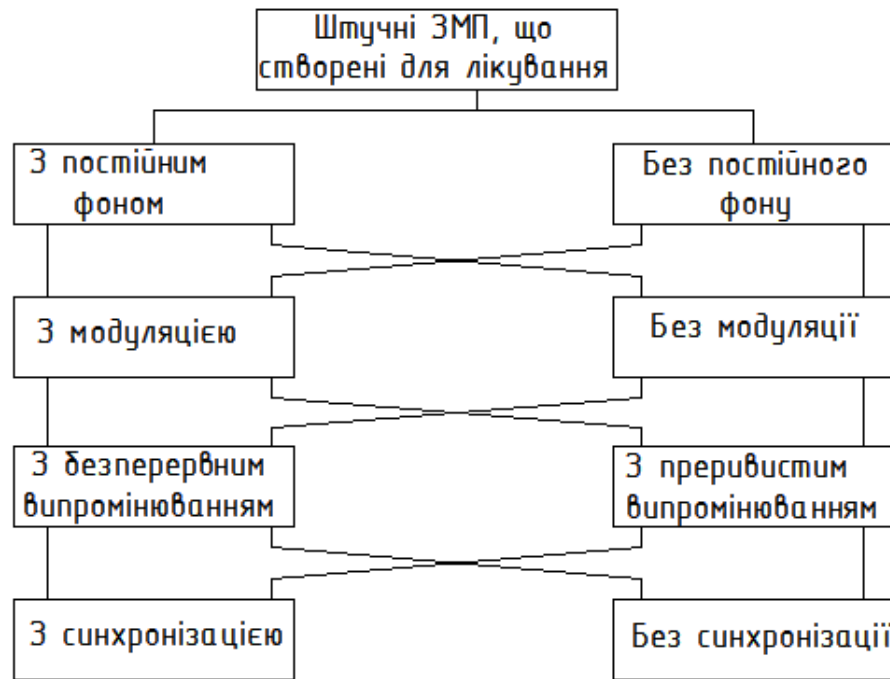


Рис. 1.2. Різновиди штучних змінних магнітних полів (у тимчасовій області) [13]

1.3. Основні параметри магнітного поля

До основних відносяться: вигляд поля, 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 істотно залежить ефективність лікування того або іншого захворювання [14].

Індукція (В) — основний параметр магнітного поля, є щільність магнітного потоку (магнітний потік, що доводиться на одиницю площі перетину). Індукція-величина векторна, характеризується модулем і напрямом. Одиницею виміру індукції являється тесла: $1 \text{ Тл} = \text{В} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Біологічно активним є будь-яке МП, величина якого відрізняється як у бік збільшення, так і зменшення від геомагнітного поля, що становить десятки мкТл. Порогові напруженості для різних видів МП вагаються від 3 мТл для ЗМП до 0,01 мТл для ІМП. Відмічена необхідність зниження інтенсивності МП при дії на рівні цілісного організму. Гранично допустимий

рівень величини індукції МП на виробництві складає 1...2 Тл. У апаратурі для магнітостимуляції, величина індукції МП знаходиться в межах від 1500 до 4000 мТл; для дії на біологічні активні точки-100 мТл; для дії на локальні ділянки частин тіла людини-від 15 до 50 мТл; для дії на частини тіла і всієї людини-від 0 до 5 мТл. У наявності явна тенденція зниження інтенсивності МП із збільшенням площі дії [15].

Залежно від значень індукції магнітні поля, вживані в магнітотерапії, умовно підрозділяють на надслабкі — $< 0,5$ мТл, слабкі — $0,5...50$ мТл, середні — $50...500$ мТл, сильні — > 500 мТл.

Найбільшого поширення в лікувальній практиці набули слабкі МП. Якщо магнітна індукція не змінюється в просторі, поле є однорідним. У однорідному полі всі вектори магнітної індукції мають одне і те ж значення і один напрям. При цьому градієнт магнітної індукції дорівнює нулю. Досить однорідними вважаються поля в центральній частині довгого соленоїда і в центрі системи котушок Гельмгольца. Такого роду поля широко використовуються при фізіологічних дослідженнях, а в практиці магнітотерапії їх вживання обмежене.

Градієнт магнітної індукції є вектор, що має значення E_B/E_K і направлений по нормалі N до поверхні рівної індукції в сторону найбільшого зростання магнітної індукції [16]:

$$\text{grad}B = \frac{\partial B}{\partial N} \cdot N \quad (1.4)$$

Практично $\text{grad}B$ визначається як зміна магнітної індукції, що доводиться на одиницю довжини по кожній з координат. Як фізична величина цей показник характеризує динаміку поля і свідчить про його неоднорідність. Одиниця виміру градієнта магнітної індукції-тесла на метр (Тл/м).

Вектор магнітного поля вказує напрям магнітних силових ліній. При зміні напрямку вектора міняється характер магнітобіологічного ефекту, що адекватно різній дії північного і південного полюсів постійного магніта. Ряд

дослідників відзначають велику активність поперечного магнітного поля, тобто в тих випадках, коли вектор магнітного поля перпендикулярний поверхні тіла людини, на відміну від подовжнього поля, при якому вектор магнітної індукції паралельний поверхні тіла людини. Досить часто більшою активністю володіє подовжнє поле. І це не є протиріччям, оскільки реальні штучні МП, особливо створювані локально - зосередженими джерелами невеликих габаритів, мають змішаний характер вектора магнітної індукції, що володіє як подовжньою, так і поперечною складовими. Окрім цього ряд учених в своїх магнітобіологічних дослідженнях відзначають велику активність МП з вертикальним напрямом вектора, пояснюючи його взаємодією з геомагнітним полем.

Частота магнітного поля є вельми важливим параметром. В ході тривалої лікувальної практики знайдені «частотні вікна», в яких магнітобіологічний ефект виражений помітно більш яскраво. Наприклад, дії магнітних полів з частотою альфа-ритму електроенцефалограми людини (8...14 Гц) роблять істотно сильніший вплив, ніж інші частоти з тією ж інтенсивністю. Тому у ряді магнітотерапевтичних апаратів, що випускаються, передбачений режим живлення з частотою 12,5 Гц. Найчастіше в практиці використовується синусоїдальне і пульсуюче магнітні поля з частотою промислової мережі 50 Гц. В даний час випускаються прилади, що мають набір фіксованих частот або плавно перебудовувані по частоті [17]. Подальшим розвитком техніки магнітотерапії в цьому сенсі є створення апаратури, яка могла б виробляти магнітні поля, синхронізовані з основними біоритмами людини. Наприклад, в магнітотерапевтичному комплексі «Аврора МК-01» (СРСР), що має набір фіксованих частот 0,1.. 100 Гц, передбачена можливість синхронізації з ритмом пульсу.

Форма магнітного поля в часі і просторі. При використанні як джерело магнітного випромінювання одного елементарного індуктора форма поля в просторі визначається конструкцією самого індуктора, а в часі-формою живлячого струму. При цьому підсилюється загальна динаміка зміни

магнітного потоку, що і несе в собі основний терапевтичний ефект. В разі використання систем загальної дії на людину відкривається можливість формування магнітного поля необхідної конфігурації як в просторі, так і в часі.

Експозиція-параметр, зв'язаний з часом одного сеансу дії магнітним полем і з числом сеансів. Інтегральний він несе інформацію про час взаємодії живого організму з штучним магнітним полем. Відповідно до традицій класичної фізіотерапії час сеансу встановлюється в межах 10...30 хв щодня в кількості від 10 до 25 процедур. За даними багатьох дослідників, фізіотерапевтичний ефект при дії магнітним полем розвивається після 5...7 процедур, який закріплюється подальшими процедурами [16].

Локалізація дії магнітним полем визначається, найчастіше, безпосередньою областю ураження — місцем розташування патологічного вогнища, а також проекцією ураженого органу на поверхню шкіри. В першу чергу це відноситься до пристроїв локальної (місцевої) дії, яка створюється, як правило, одним індуктором. Разом з цим, терапевтичний ефект може бути отриманий при дії МП на рефлексогенні зони або біологічно активні точки, часом віддалені від вогнища патології. В той же час, оскільки організм людини складається з тісно взаємодіючих функціональних систем, діяльність яких регулюється центральною нервовою системою, то можна отримати відповідь організму.

У магнітотерапевтичних апаратах, що мають набори індукторів, передбачені режими, при яких здійснюється дія, розповсюдження в заданій області простору. У деяких системах, що дозволяють здійснювати загальну дію на весь організм людини, представляється можливим на фоні просторовий рівномірної структури поля формувати локально посилені (ослаблені) поля, а також неоднорідності заданої форми [17]. Більшість магнітотерапевтичних апаратів, що випускаються, формують, як правило, статичні поля. Комплекс «Аврора МК-01» має програмно-апаратні засоби для

створення як статичних, так і динамічних полів. Можливі безліч різновидів просторово-організовані штучні МП представлено на рис. 1.3.

Енергія магнітного поля (W) може служити узагальненим показником, що характеризує дію МП на живий організм. Енергія магнітного поля обчислюється через його параметри [4]:

$$W = \frac{1}{2} \int_V \frac{B^2}{\mu\mu_0} dV \quad (1.5)$$

Де B -індукція магнітного поля, V -об'єм, займаний біооб'єктом; μ — відносна магнітна проникність; μ_0 -магнітна постійна.

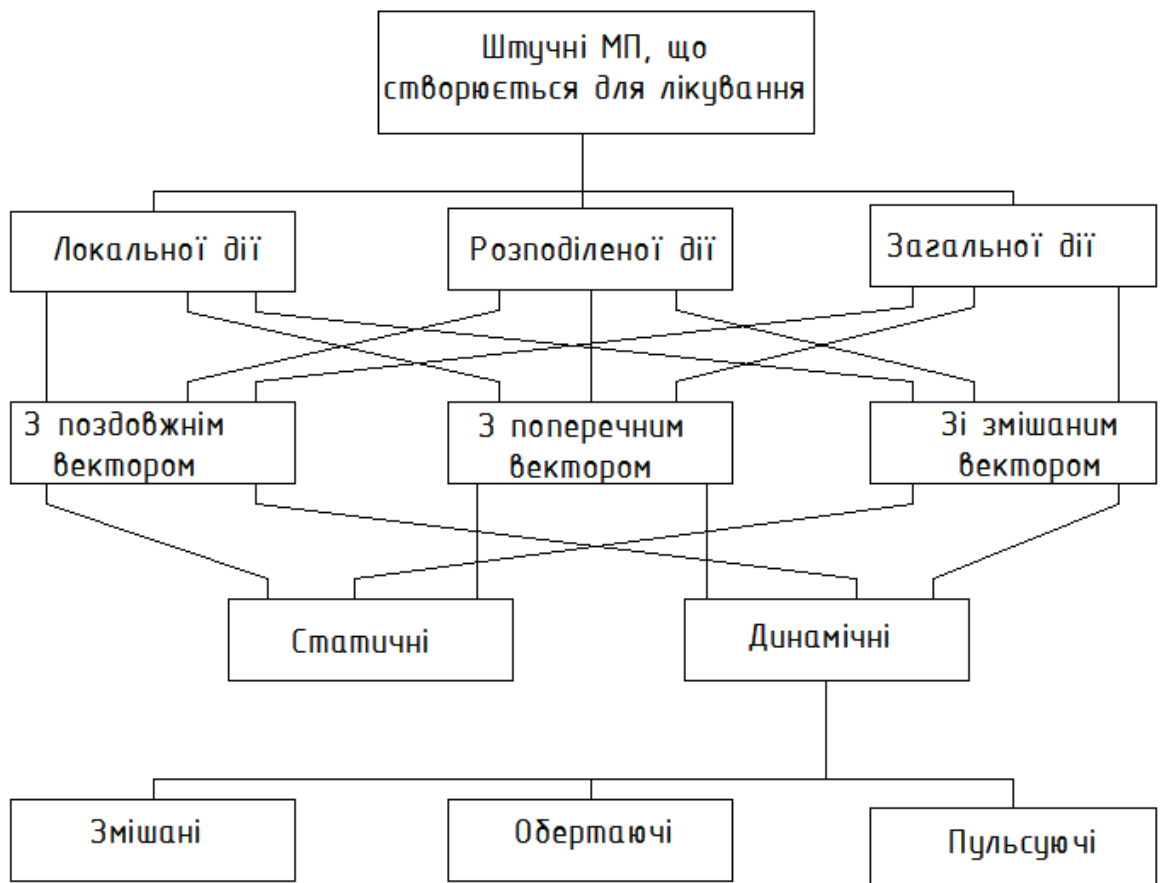


Рис.1.3. Різновиди штучних магнітних полів (у просторовій області) [11]

Враховуючи загальний час експозиції $t_{екс}$, можна визначити роботу A магнітного поля[10]:

$$A = P \cdot t_{екс} = W \cdot f \cdot t_{екс} \quad (1.6)$$

Останнє співвідношення пов'язує основні характеристики поля (індукція, частота) і час його взаємодії з живим організмом.

1.4. Характер впливу магнітного поля на живий організм

У експериментальній біології і медичній практиці накопичений величезний емпіричний досвід про ефекти МП, вимагаючий систематизації і теоретичного осмислення для розшифровки механізмів їх дії на живі об'єкти. У спробах добитися вирішення цієї проблеми слід виходити з того, що організм є багаторівневою ієрархічною організацією. Особливості структури кожного з цих рівнів зумовлюють характерну вибірковість взаємодії по різних параметрах МП. У зв'язку з цим для осмислення механізмів дії МП на живі системи пропонується виділити наступні рівні, на яких ця взаємодія просліджується досить явно.

1. Ядерно-молекулярний рівень, що включає підрівні:
 - електронно-ядерний;
 - іонно-молекулярний.
2. Цитохімічний рівень, в якому слід виділити:
 - субклітинні структури;
 - структурні утворення, що забезпечують іонну рівновагу в клітках і тканинній рідині;
 - клітинні мембрани;
 - біополімери, визначальна в'язкість і здатність змінювати агрегатний стан рідких середовищ організму.
3. Тканинний рівень, на якому дія МП буде зумовлюватись:
 - особливостями морфології даної тканини;
 - функціональною передпризначеністю тканин;
 - переважаючим характером метаболізму.
4. Органний рівень (дія на окремі органи).
5. Системний рівень, що включає:
 - центральну, периферичну і вегетативну нервові системи;

- сенсорні системи;
 - серцево-судинну систему;
 - ендокринну систему;
 - дихальну, травну і видільну системи;
 - систему крові;
 - опорно-руховий апарат і ін.
6. Міжсистемний рівень, що описує взаємодію між окремим системами організму.
7. Загальносистемний рівень, що формується при інтеграції взаємодій між всіма системами.
8. Міжособовий рівень, що включає:
- дія одного організму на іншій через власне випромінювання МП;
 - взаємодія живих організмів в зовнішньому МП.

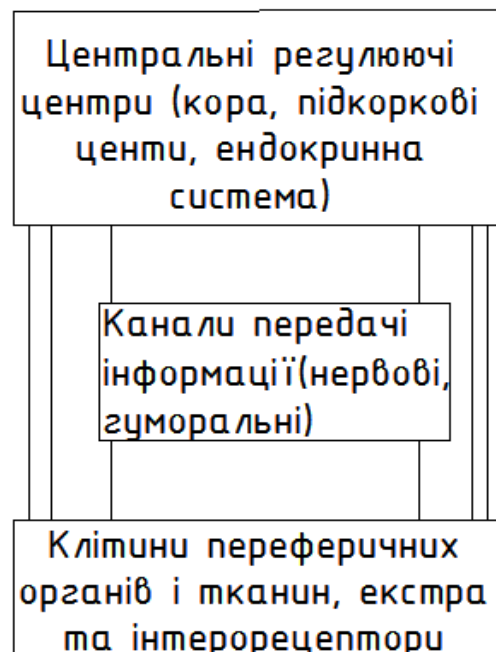


Рис. 1.4. Загальна схема дії МП на живий організм[19].

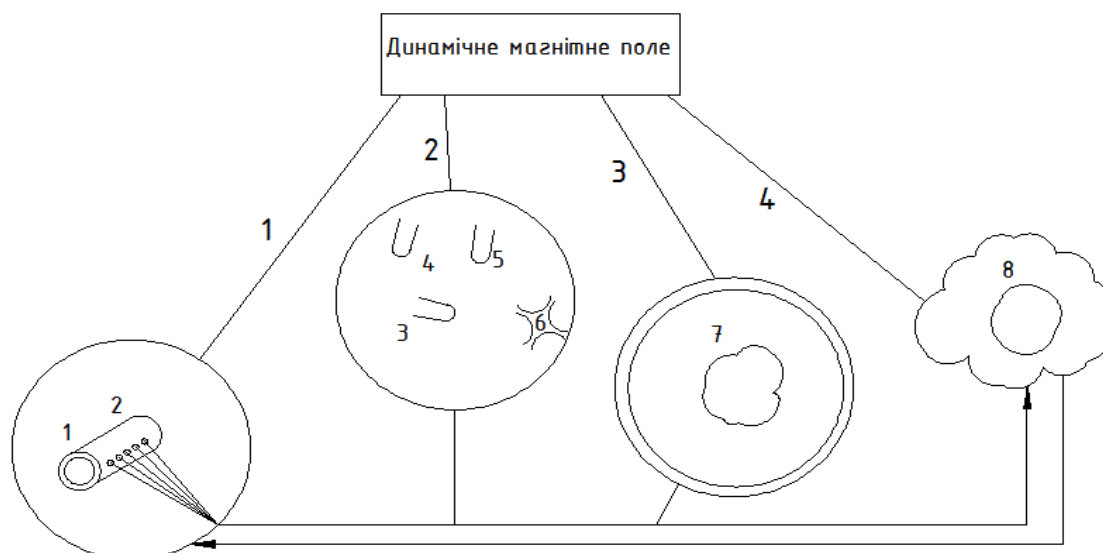


Рис. 1.5. Варіант дії динамічного магнітного поля на регуляторні механізми системи кровообігу [20]

I-периферичний 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-галамическая область); 1-периферична судина; 2-барорецептори; 3-збуджуюче волокно; 4-пресинаптичне гальмування; 5-постсинаптичне гальмування; 6-постсинаптичний нейрон; 7-переключаючий нейрон спинного мозку; 8-клітки вазомоторного центру.

1.5. Стан розвитку магнітофізіотерапевтичної апаратури.

1.5.1. Особливості використання магнітотерапевтичної апаратури

В основу класифікації магнітотерапевтичних приладів, що серійно випускаються, і апаратів покладена міра локалізації поля дії на пацієнта, оскільки це є найбільш значимим чинником з точки зору побудови самого апарату, його складності, а також крайового пристрою формування магнітного поля. Вище були виділені три класи локалізації дії:

1. локальної (місцевого) дії;
2. розподіленої дії;
3. загальної дії.

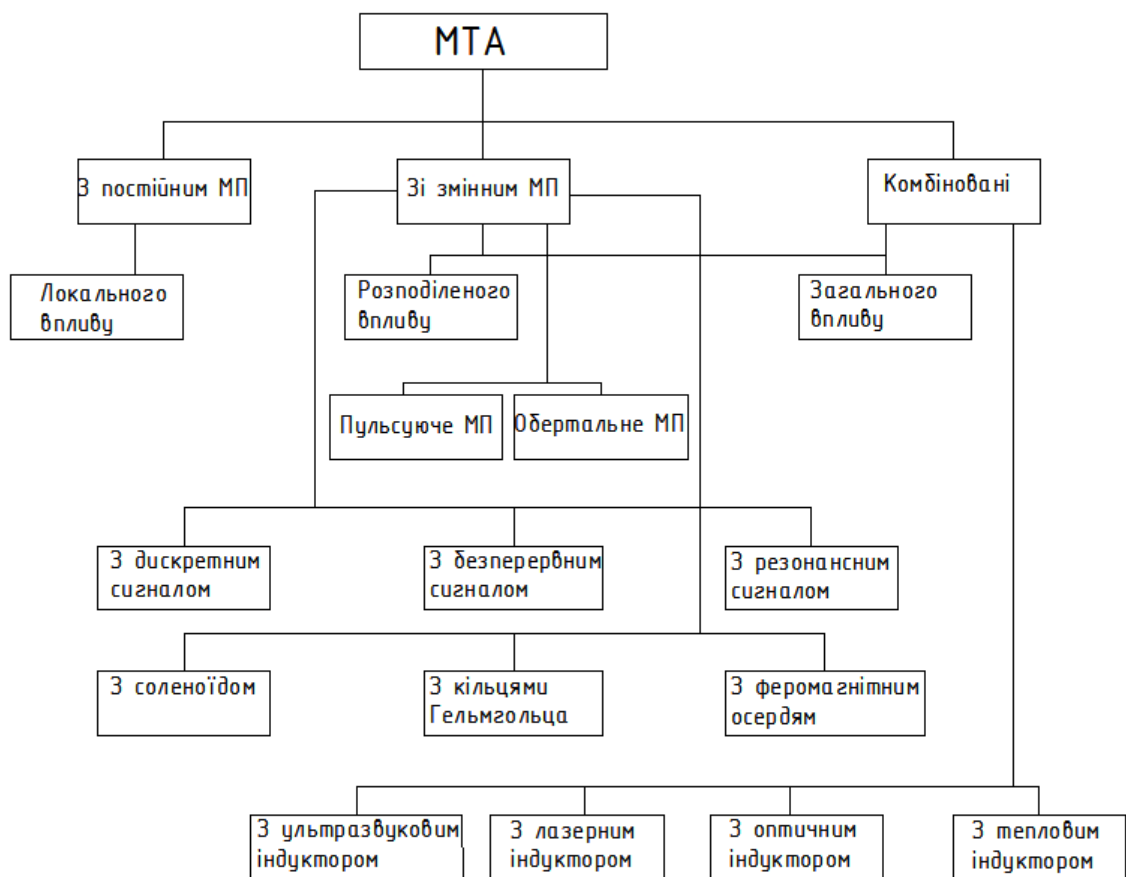


Рис.1.6. Класифікація МТА [39].

До локального рівня віднесені апарати, що містять один або два індуктори, призначені для опромінення магнітним полем деякого органу або ділянки тіла пацієнта. До них же віднесені апарати магнітопунктурної дії з можливістю опромінення в будь-який момент часу лише однієї біологічно активної точки. Особливістю цього класу є відсутність просторового переміщення магнітного поля. До них же відносяться магнітотерапевтичні вироби з постійними магнітами: браслети, пігулки, кліпси і тому подібне, які в даній роботі не розглядаються.

До розподіленого рівня віднесені апарати, що містять ряд (три і більш) індукторів, за допомогою яких можна охопити ряд органів пацієнта або значну область тіла пацієнта і навіть розмістити на різних частинах тіла. Цей клас характеризується можливістю переміщення магнітного поля в просторі довкола пацієнта.

У розподілений рівень віднесена апаратура з найбільш об'ємним пристроєм, в якому повинна розміщуватися вся людина. У цих апаратах забезпечується загальна дія, як правило, в такій апаратурі передбачається переміщення поля в просторі і зміна в часі.

По перших двох рівнях безпосередньо випромінювачі магнітного поля мають нескладну конструкцію і частенько організовані «розсипом», тому при лікуванні вони можуть встановлюватися довільно, в залежності від бажання лікаря-фізіотерапевта або відповідно до медичних методів [22]. При цьому в загальній вартості апарату випромінювачі складають малу частину в порівнянні з електронною частиною, генеруючої силові струми. Це особливо характерний для апаратів розподіленої дії і менш справедливо для апаратів локальної дії, де незрідка використовуються прості перетворювачі струму промислової частоти.

У апаратах третього рівня використовують стаціонарні, досить об'ємні крайові пристрої, в які поміщається пацієнт. Їх конструкція може бути найрізноманітнішою-від магнітного скафандра до магнітної кімнати. Тут вартість крайових пристроїв деколи перевищує вартість електронного блоку управління, генеруючого весь ансамбль силових струмів.

Аналіз принципів побудови промислових магнітотерапевтичних апаратів дозволяє представити їх узагальнену структурну схему (рис.1.7).

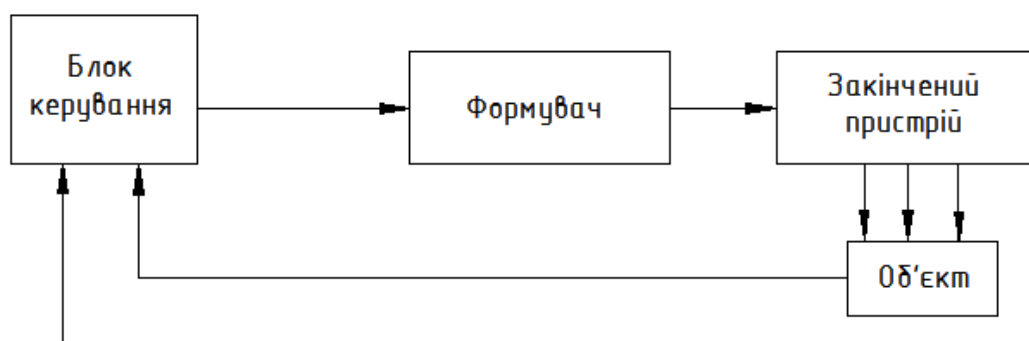


Рис.1.7. Узагальнена структурна схема МТА

За допомогою блоку управління задається набір біотропів параметрів магнітного поля. Функціонально блок управління може містити задатчики

частотно-тимчасових параметрів, параметрів синхронізації, інтенсивності магнітного поля і ін.

Формувач призначений для відтворення струму певної форми в індукторах і в найпростішому випадку може містити перетворювач вигляду струму живлення індуктора у вигляді випрямного діода. Як правило, до складу формувача входить підсилювач потужності.

Закінчений пристрій призначений для формування магнітного поля і є індуктором або набором індукторів (випромінювачів магнітного поля), виконаних у вигляді електромагнітів, соленоїдів, коротких (плоских) котушок індуктивності.

1.5.2 Магнітофізіотерапевтичні апарати локальної дії

Магнітотерапевтичні апарати (МТА) локальної дії можна розділити на портативні-індивідуального користування і переносні-загального користування. У основі ділення лежить взаємоположення блоку управління і крайового пристрою-індуктора.

Як перший даного МТА назвемо «Маг-30». Він призначений для дії синусоїдальним МП однієї інтенсивності. Пристрій є індуктором П-образної форми з двома котушками в пластмасовому корпусі і живиться безпосередньо від мережі. Його відмінною особливістю є відсутність блоку управління як такого. Апарат випускається 4-х типорозмірів: 130x115x130 мм, 105x80x54 мм, 115x80x47 мм, 110x72x34 мм, споживана потужність не більше 50 Вт [24].

Наступний МТА «Магнітер» формує синусоїдальне і пульсуюче магнітні поля і виконаний у вигляді поєднаних в єдиному конструктиві індуктора-електромагніту і перетворювача (рис.1.8). Перетворювач представляє із себе пристрій, формуючий імпульси струму, що живлять обмотку електромагніту. Регулювання інтенсивності виробляється комутацією виводів обмотки. Апарат має габарити 243x93x48 мм і споживає потужність не більше 30 Вт.

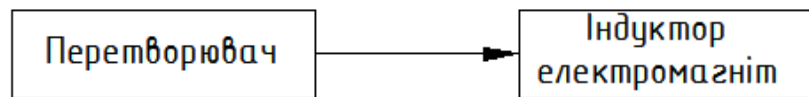


Рис.1.8. Структурна схема МТА «Магнітер» [25]

МТА «Полюс-2Д» формує пульсуюче МП з плавно наростаючим фронтом і спадом імпульсу. Індуктор складається з 4-х електромагнітних котушок, включених послідовно. Особливістю апарата є наявність загального феромагнітного екрану. Споживана потужність не більше 4 Вт.

Переносна магнітотерапевтична апаратура локальної дії представлена широким спектром приладів. Так, сімейство апаратів «Полюс» налічує понад п'ять найменувань. «Полюс-1» призначений для дії на пацієнта синусоїдальним або пульсуючим однонапівперіодним МП промислової частоти в безперервному або переривистому режимах. Апарат має 4-х ступінчасте регулювання інтенсивності МП [26]. Відмінною особливістю є наявність таймера і пристрою індикації, що складається з сигнальних ламп, включених послідовно з індукторами. Завдання переривистого режиму здійснюється пристроєм управління, виконаним за схемою мультівібратора. У комплект індукторів входять електромагніти 3-х типів: циліндровий, прямокутний, порожнинний. Циліндровий індуктор є котушкою з П-образним сердечником (110x60 мм), полюси якого є робочою поверхнею. Прямокутний індуктор має як робочу поверхню не лише передню, але і торцеві і бічні стінки (160x47x50 мм). На сердечнику укріплені 2 послідовно сполучені котушки. Порожнинний індуктор являє собою котушку, усередині якої поміщений сердечник (25x165 мм). Споживана потужність не більше 130 Вт.

Апарат «Полюс-101» призначений для дії синусоїдальним магнітним полем підвищеної частоти і має 4 рівні регулювання інтенсивності МП. Комплект індукторів складається з двох соленоїдів (220x264x35 мм) [27, 47].

Передбачений режим поперемінного включення індукторів в переривистому режимі. Споживана потужність не більше 50 Вт. Особливістю даного апарату є те, що індуктори і послідовно сполучені з ними конденсатори утворюють резонансні контури, що дозволяє отримати економію у вжитку потужності. Іншою відмінною рисою є те, що для здобуття струму синусоїдальної форми в індукторах використовується не живляча мережа, а напруга, що формується окремим генератором (рис.1.9).

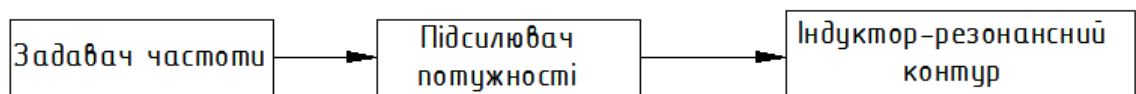


Рис.1.9. Структурна схема МТА «Полюс-101» [28]

МТА «Полюс-2» призначений для дії синусоїдальним і пульсуючим МП з 4-а рівнями регулювання інтенсивності і частоти імпульсів МП. У комплект апарату входять 3 типи індукторів: циліндровий (110x60 мм), прямокутний (55x40x175 мм), порожнинний (25x165 мм), індуктор-соленоїд (240x265x150 мм). Циліндричеський індуктор виконаний у вигляді 4-х окремих котушок з сердечниками, розміщеними по периметру індуктора [28]. Відмітною особливістю апарату є автоматичне узгодження інтенсивності магнітного поля індуктора при його зміні з генератором і наявність формувача імпульсів МП, струму, що дозволяє отримувати експоненціальну форму, в ланцюзі індуктора з регулюванням часу спаду (рис.1.10).

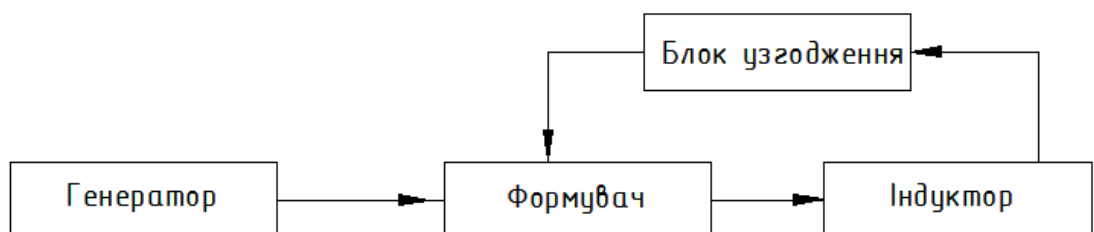


Рис.1.10. Структурна схема МТА «Полюс-2» [27]

МТА «Градiєнт» призначений для дії синусоїдальним і пульсуючим одно- і двонапівперіодним МП частотою 50, 100 Гц в безперервному і переривистому режимах з 8 рівнями регулювання інтенсивності МП. У комплект приладу входять три типи індукторів-електромагнітів (131x60; 85x60; 32x82 мм). Всі індуктори магнітного поля поміщені в сталевий екран. Прилад має вбудовані цифрові індикатор інтенсивності МП і таймер. Відмінними особливостями є: живлення індуктора струмом, що модулюється прямокутними імпульсами, і можливість роботи від зовнішнього джерела синусоїдального і імпульсного сигналу [29].

Перелік апаратів локальної дії, що серійно випускаються, їх порівняльні технічні характеристики і основні особливості приведені в таблицю.1.1. [27-28, 30-31].

Таблиця 1.1 Вітчизняна і зарубіжна апаратура локальної дії

Назва апарата	Вигляд струму живлення індуктора	Максимальне значення індукції, мТл	Частота МП	Тип індуктора	Відмітні особливості
Магнітер	Sin 1п/п	30(2)	50	ЕМ	-----
Маг-30	Sin	30(1)	50	ЕМ	-----
Полюс 2Д	ПУ	40(1)	12,5	ЕМ	-----
Полюс 1	Sin, ПУ1п/п	35(4)	50	ЕМ	-----
Полюс 101	Sin	1,5(4)	700, 1000	Соленоїд	-----
Полюс 2	Sin, имп..exp	75(4)	50	ЕМ, Соленоїд	-----
Полюс 3	ПУ	30(3)	12,5;17;25;	ЕМ	Магнітофорез, автоматичний реверс МП
Полюс 4	ПУ	15(3)	12,5;17;25;	ЕМ	автоматичний реверс МП

Градiєнт-1	Sin, ПУ1п/п, 2п/п	50(1)	50, 100	ЕМ	Модуляція струму, робота від зовнішнього генератора
Біос	Імп.	---	Програмована	ЕМ	Можливість синхронізації від датчика пульсу
Магніс	--	10(плавно)	---	-----	Дія на БАТ
Каскад	Імп.	15	0,8...2,5	ЕМ	----
Авімп	Імп.	1500	0,17..0,76;30;130;	Соленої д	Магнітостимуляція
Біомаг	Імп.	4000(1)	0,2	Соленої д	Магнітостимуляція
НЛМ-1	Sin	110(10)	50	ЕМ	-----
Алмаз	Імп.	15(2)	50	ЕМ	----
Індуктор 2	Sin	3(6)	5000	ЕМ	----
Аміт	Імп.	57(1)	2..5;6;8;10;12;16;	ЕМ	----
Альфа-пульсар	Імп.	1,5	80	ЕМ	-----
БІАМП	Імп.	----	1..100	Соленої д	Модуляція МП
Біомагнетікс (Німеччина)	Sin	2,5	1.100	Соленої д	----
Ронефор(Італія)	Sin	10	1..50	Соленої д	-----
Магнетотрон (Німеччина)	Sin	---	----	Соленої д	Переміщення індуктора над тілом пацієнта
Магніт 80(Болгарія)	Sin	40	50	Соленої д	----
Магніт 87(Болгарія)	Sin	20	1...100	Соленої д	-----
УП-1(Німеччина,	Sin	10(5)	1,4,8,16,25,50.	-----	-----

Болгарія)					
Мела(Німеччин а)	Sin	----	1..15	Соленої д	-----
Родмагнетік 100 (Німеччина)	Імп.	----	2,4,8,10,17,25	-----	-----
MES-10(США)	Імп.	2300(3)	----	Соленої д	-----
МІТ 11(УКР)	Імп.	18(4)	1....44	ЕМ	

Примітка. У таблиці прийняті наступні позначення струмів: sin-синусоїдальний; імп.-імпульсний; ехр-експоненціальний; ПУ-пульсуючий; 1п/п і 2п/п-одно- і двонапівперіодного випрямлення відповідно.

1.5.3. Магнітофізіотерапевтичні апарати розподіленої дії

Більшість МТА локальної дії мають декілька режимів роботи, в одному з яких можливе здійснення розподіленої дії. Наприклад, в МТА «Поліус-101» можливе поперемінне включення однієї з двох котушок, що наводить як би до переміщення поля в просторі. Проте для направленою переміщення, а тим більше створення поля, що обертається, потрібно не менше трьох індукторів і трифазного живлячого струму [32].

МТА «Атос» (рис.1.11) призначений для лікування захворювань в офтальмології що обертається довкола оптичної осі ока магнітним полем, створюваним шестиканальним джерелом, виконаним на базі соленоїдів і генеруючим змінне або імпульсне реверсивне магнітне поле частотою 50 або 100 Гц. Особливістю даного апарату є можливість дії одночасно на 3-х частотах: частотою кожного соленоїда у момент включення, частотою модуляції ІМП, частотою комутації сусідніх соленоїдів.

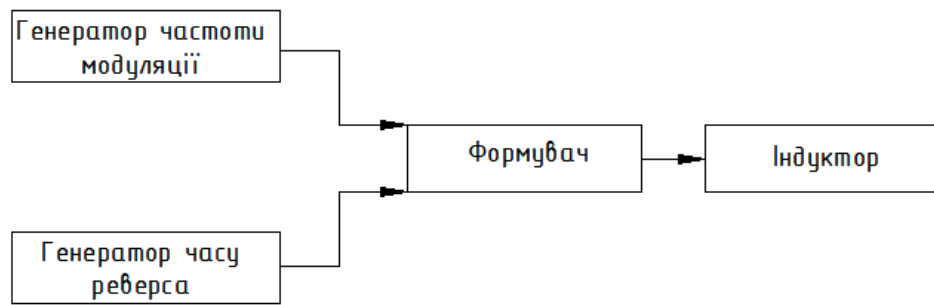


Рис.1.11. Структурна схема МТА «Атос» [27]

МТА «Алімп-1» є 8-и каналним джерелом імпульсного МП, що біжить, частотою 10, 100 Гц з двоступінчатим регулюванням інтенсивності поля. Апарат забезпечений комплектом індукторів 3-х типів, створюючих 2 соленоїдних пристрої, складаються з 5-і і 3-х індукторів-соленоїдів відповідно, і набір з 8-и соленоїдів, розміщених в кишенях пакету (720x720x20 мм) (рис.1.12). Перший соленоїдний пристрій (480x270x330 мм) є набором з 5 циліндрових котушок, розташованих одна за одною. Другий (450x450x410 мм) - конструкцію з 3-х циліндрових котушок, розміщених під кутом один до одного. Споживана потужність не більше 500 Вт. Відмінною особливістю апарату є використання імпульсного МП, тим що володіє більш вираженим терапевтичним ефектом.

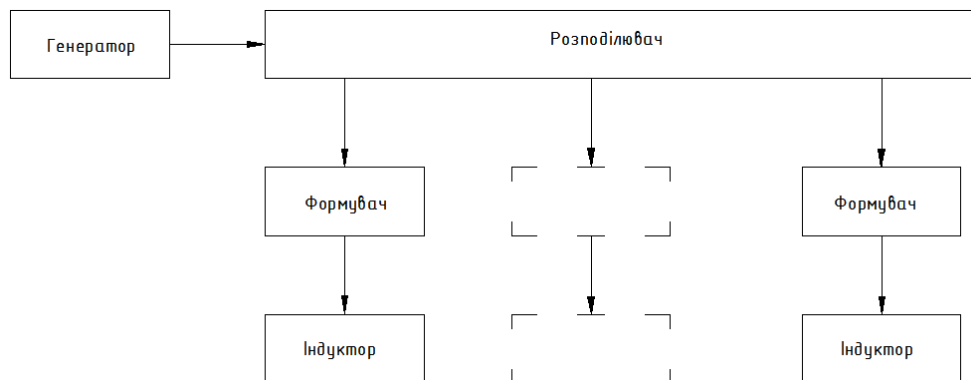


Рис.1.12. Структурна схема МТА «Алімп-1» [27]

Апарат «МАЛАХІТ-ОЮП» є лікувально-діагностичним комплексом, призначеним для лікувальної дії імпульсним складно модульованим

магнітним полем на хворий орган і його діагностики. Апарати подібного типу будуються за схемою, змальованою на рис.1.13.

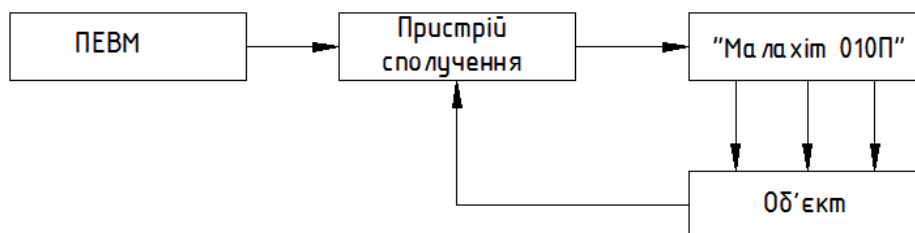


Рис.1.13. Структурна схема МТА «Малахіт» [27]

Відмінною особливістю пристрою є наявність каналу зв'язку з комп'ютером для автоматичного управління параметрами МП і оптимізації процесу лікування за рахунок зворотного зв'язку. Комплект індукторів складається з 12 електромагнітів.

Перелік апаратів для магнітотерапії розподіленої дії, що випускаються промисловістю, їх основні технічні характеристики і особливості приведені в таблицю. 1.2. [33-35].

Таблиця 1.2. Перелік апаратів для магнітотерапії розподіленої дії

Назва апарату	Вигляд струму живлення індуктора	Максимальне значення індукції, мТл	Частота МП	Тип індуктора	Відмітні особливості
Полеміг	Імп.	30(1)	0,5;1;4;7;10;	Соленоїд	-----
Малахіт 01	Імп.	10	0,5..100	ЕМ	Автоматичне регулювання параметрів
Малахіт 010П	Імп., сл-мод.	15(4)	120	ЕМ	Канал ОС, управління від ЕОМ
ПДМТ-01	ПТ, Sin, Імп. Мп і бп	150(14)	25;50;75;100;	ЕМ	-----

Алімп 01	Імп.	5(2)	10, 100	Соленоїд	Мп, що біжить
Атос	Імп.	33(1)	50, 100	Соленоїд	Мп, що біжить
Магнітайзер, тип М- CHR (Японія)	Sin	20(6)	50	ЕМ	Магнітне поле+вібрація
Магнітайзер, тип М- P3 (Японія)	Sin	15(6)	50	ЕМ	Магнітне поле+вібрація

Примітка. У таблиці прийняті наступні позначення струмів: ПТ- постійний; сл.-мод-складно модульований; мп і бп-моно- і біполярний відповідно; останні позначення такі ж, як в таблиці. 1.1.

1.5.4. Магнітофізіотерапевтичні апарати загальної дії

Апарати загальної дії є найбільш складними і дорогими пристроями, тому освоєних промисловістю і сертифікованих зовсім небагато. До них в даний час можна віднести апарати класу «АВРОРА-МК», апарати типів «Магнітотурботрон 2М» і «МАГНІТОР-АМП» і комплекс «Біо-магніт-4». МТА «Аврора МК-01» призначений для загальної дії на пацієнта складним динамічним магнітним полем з дуже великим набором можливих конфігурацій МП від тих, що обертаються до випадково переміщуючихся, які програмуються заздалегідь і, в принципі, підбираються для кожного пацієнта індивідуально. Пацієнт розташовується на спеціальній кушетці, де у формі гнучких площин укріплені системи індукторів: окремо для всіх кінцівок, голови і тулуба людини. Потім кожна з частин охоплюється гнучкими площинами, утворюючи замкнутий об'єм на кшталт скафандра, усередині якого знаходиться пацієнт [36].

Таблиця 1.3. Основні технічні характеристики апаратів МТ

Назва апарату	Вигляд струму живлення індуктора	Максимальне значення індукції, мТл	Частота МП	Тип індуктора	Відмітні особливості
Аврора МК-1	ПТ, імпульсний комбінований	5(16)	0,1...100;	ЕМ	Можливість синхронізації від датчика пульсу, комбіноване ІБМП
МАГНІТОР-АМП	Імп., Sin	5	50..160	ЕМ	Управління від ЕОМ, автоматичний контроль температури і пульсу

Примітка. У таблиці прийняті позначення струмів такі ж, як в таблиці 1.1 і 1.2.

МТА «МАГНІТОР-АМП» призначений для дії обертаючимся МП в діапазоні 50...160 Гц з програмованою автоматичною циклічно-періодичним регулюванням інтенсивності МП від 0 до 7,4 мТл і з модуляцією напруженості по довільному закону на все тіло пацієнта. Індуктор є об'ємним електромагнітом, виконаним у вигляді статора 3-х фазною 2-х полюсною електричною машиною змінного струму, в якому розміщується пацієнт (рис.1.14).

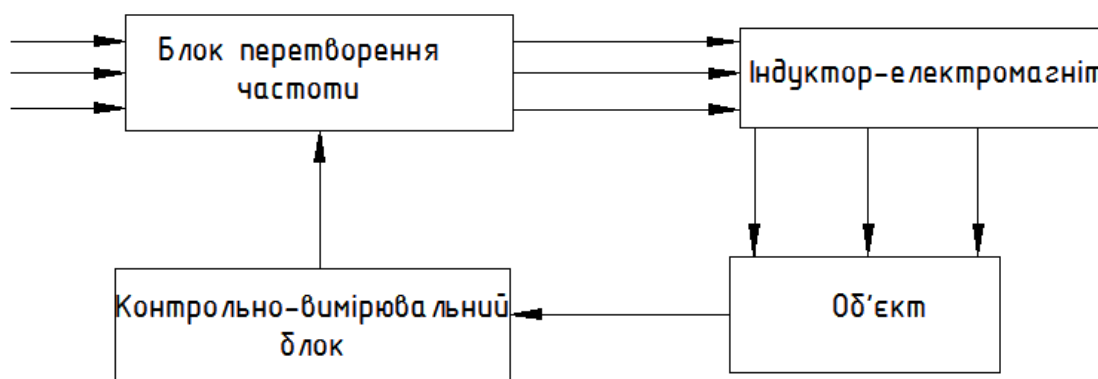


Рис.1.14. Структурна схема МТА «МАГНІТОР-АМП» [27]

Контрольно-вимірювальний блок виконаний на базі ПЕВМ. Відрізняючою особливістю апарату є дія однорідним МП, що обертається,

на весь організм пацієнта з одночасним контролем за частотою пульсу і температурою тіла пацієнта. Апарат характеризується великою масою індуктора (близько 500 кг), живленням від 3- фазної мережі, великим вжитком потужності (2,5 кВт).

МТА «Біомагніт-4» (або БМ-4) за уявленням виготівника впливає на пацієнта особливим електромагнітним середовищем, створеним відфільтрованим від шкідливої компоненти біоактивним випромінюванням за умови повного екранування геоелектричного поля і, частково, геомагнітного поля. Пацієнт поміщається в прямокутну камеру з дверима, що щільно закриваються, де може сісти на дерев'яне крісло. Управління і діагностика здійснюється від ПЕВМ.

Таким чином, розвиток МТА йде по шляху створення пристроїв, що генерують магнітні поля, володіють усе більш широким набором параметрів біотропів, збільшення площі дії, введення елементів контролю за станом здоров'я пацієнта, управління і синхронізації з біоритмами пацієнта, введення режиму зворотного зв'язку на базі діагностичної для вимірника апаратури загального і спеціального призначення і обчислювальних засобів.

1.6. Індукційні системи магнітотерапевтичної апаратури

Штучні постійні і змінні магнітні поля можуть створюватися за допомогою постійних магнітів, котушок індуктивності і електромагнітів. У термінології, сталій в науковій літературі по магнітобіології і магнітотерапії, джерело штучного магнітного поля називають індуктором. Для створення змінних, пульсуючих і імпульсних магнітних полів в магнітотерапії широко використовуються індуктори у вигляді соленоїдів, циліндрових і нециліндрових коротких котушок, електромагнітів з сердечниками різної конфігурації, зроблених з різних матеріалів[12]. Будь-яке джерело магнітного поля має різні полюси (N-північний, S-південний), має замкнуті силові лінії (прийнятий напрям від північного до південного). В джерелах змінного магнітного поля полюса міняються періодично відповідно до зміни напрямку

струму. Магнітне поле індуктора характеризується вектором магнітної індукції B , вектором напруженості магнітного поля H , градієнтом магнітної індукції $grad B$.

Розглянемо основних типів вживаних в медичній практиці індукторів і характеристики створюваних ними полів.

Соленоїд — це циліндрова котушка, що складається з великого числа витків дроту, створюючих гвинтову лінію. Якщо витки розташовані впритул один до одного, котушка представляє собою систему послідовно сполучених кругових витків однакового радіусу, що має загальну вісь. При протіканні по витках струму утворюється магнітне поле, силові лінії якого змальовані на рис.1.15. Частина силових ліній проходить через обмотку. Лінії магнітної індукції довгого соленоїда (при, де l -довжина котушки, r -радіус намотування) практично паралельні один одному. Поле усередині такого соленоїда рівномірно і однорідно. Напрямок вектора магнітної індукції визначається за правилом буравчика і збігається з напрямком осі X . Усередині довгого соленоїда існує лише аксіальна складова індукції B_x . Максимальне значення індукції на осі має місце в точці, лежачій на середині соленоїда[37] :

$$B_{x0} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{1}{\sqrt{4r^2 + l^2}}, \quad (1.7)$$

де I -струм, що протікає через котушку; N -число витків; μ -магнітна постійна; μ_0 -відносна магнітна проникність середовища.

Розподіл значень індукції практично рівномірно по всій довжині осі соленоїда і знижується на кінцях до значення (рис.1.15.в.):

$$B_{x22} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{1}{2l} \quad (1.8)$$

Для соленоїдів кінцевої довжини значення індукції на осі розраховується по формулі [38,47]:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \left(\frac{v_1}{\sqrt{r^2 + v_1^2}} + \frac{v_2}{\sqrt{r^2 + v_2^2}} \right) \quad (1.9)$$

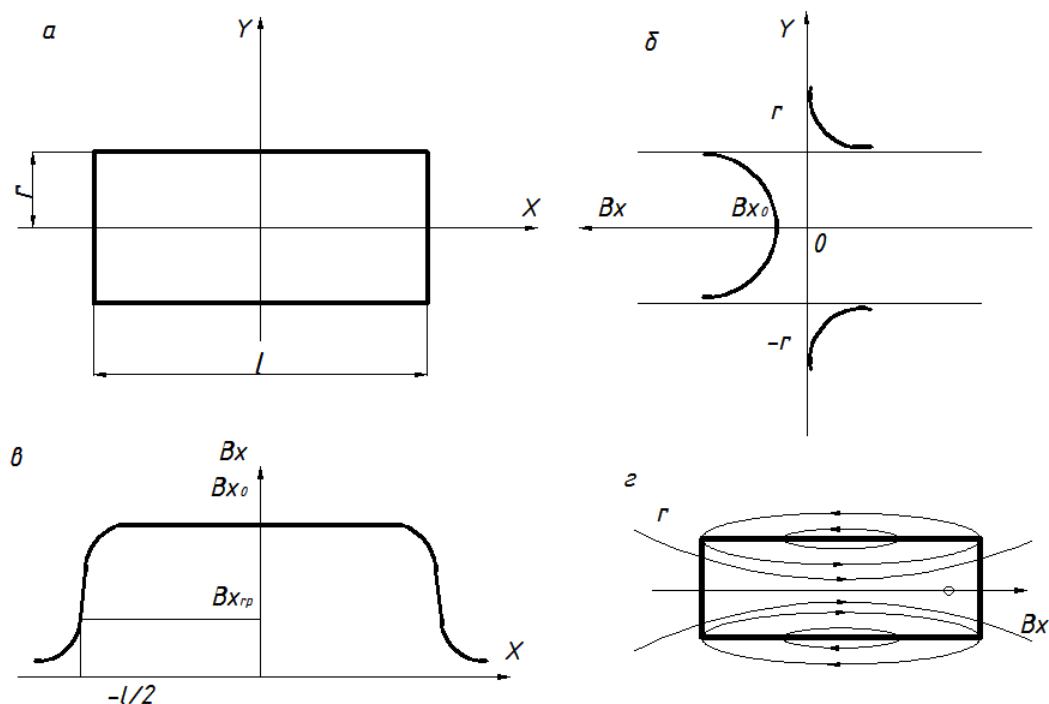


Рис.1.15. Одношаровий соленоїд[28]: а) геометрія; б) розподіл індукції B_x по перетину; в) розподіл індукції B_x по осі; г) силові лінії

Розподіл аксіальної складової індукції B_x по перетину $x = 0$ соленоїда показано на рис.1.15.б. З огляду на те, що поза соленоїдом поле швидко затухає, основною для цілей лікування є його внутрішня порожнина [26].

Відомі експериментальні і серійні магнітотерапевтичні установки, в яких використовуються дані індуктори-соленоїди. У комплекті апарату «Полнос-2», є два соленоїди (розміри 0270x0265x150 мм), що живляться синусоїдальним струмом. Індуктори-соленоїди (діаметри 30 і 50 см) використовуються в апаратах «Магнетотрон», «Біомагнетик» (Німеччина), що мають декілька режимів живлення: безперервний, переривистий і ритмічний (у всіх режимах струм синусоїдальний). При проведенні процедур індуктори-соленоїди зазвичай надівають на кінцівки, тулуб або шию пацієнта. Вектор магнітної індукції при цьому направлений уздовж тіла або кінцівок людини.

Мають використання апарати, в яких використовується торцеве поле 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 переміщається відносно неподвижного лежачого пацієнта.

Є публікації про вживання соленоїда для дії магнітним полем на весь організм людини. Це фізіотерапевтичний комплекс «МАГНІТОР-АМП». В даному випадку пацієнт поміщається всередину камери з намотаною довкола котушкою значних розмірів, магнітні силові лінії якої пронизують все тіло в напрямі від ніг до голови. Індуктор має габарити 2100x1190x1300 мм. Діаметр робочої порожнини складає 700 мм. Живиться індуктор від мережі 380 В, 50 Гц через трифазний перетворювач, що створює однорідне магнітне поле, що обертається, з частотою обертання 50... 160 Гц і індукцією 0...7,4 мТл [38].

Плоска циліндрова котушка (короткий соленоїд). Конструкція індуктора є циліндровою котушкою, як правило, багат шарова, така, що має довжину, істотно меншу в порівнянні з діаметром. Поле симетричне відносно осі, нерівномірно і неоднорідна. 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 з виразу [39]:

$$B_{x_{zz}} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{1}{2l} \quad (1.10)$$

а в довільній точці x осі:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{r^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}} \quad (1.11)$$

Розподіл значень індукції B_x уздовж осі представлений на рис.1.16. Вказаних значень і розподілів індукції можуть бути набуті лише в першому наближенні і за умови, що розміри котушки (рис.1.16, а). В цьому випадку котушка є кільцем, яке можна розглядати як еквівалентний виток із струмом. Розподіл значень аксіальної B_x і радіальною B_r складових вектора магнітної

індукції показаний на рис.1.16, б. Досить просто можна врахувати геометричні розміри котушки:

$$r_i = r(1 + \frac{b}{24r^2}) \quad (1.12)$$

Одним з різновидів вживаних конструкцій є плоска циліндрова котушка (рис.1.17) з радіусами і товщиною. Значення магнітної індукції такої котушки по осі розраховується по наступному співвідношенню [40]:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{0.2\pi}{r_2 - r_1} \left(\frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + x^2}} - \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + x^2}} + Ln \frac{r_2 + \sqrt{r_2^2 + x^2}}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x^2}} \right) \quad (1.13)$$

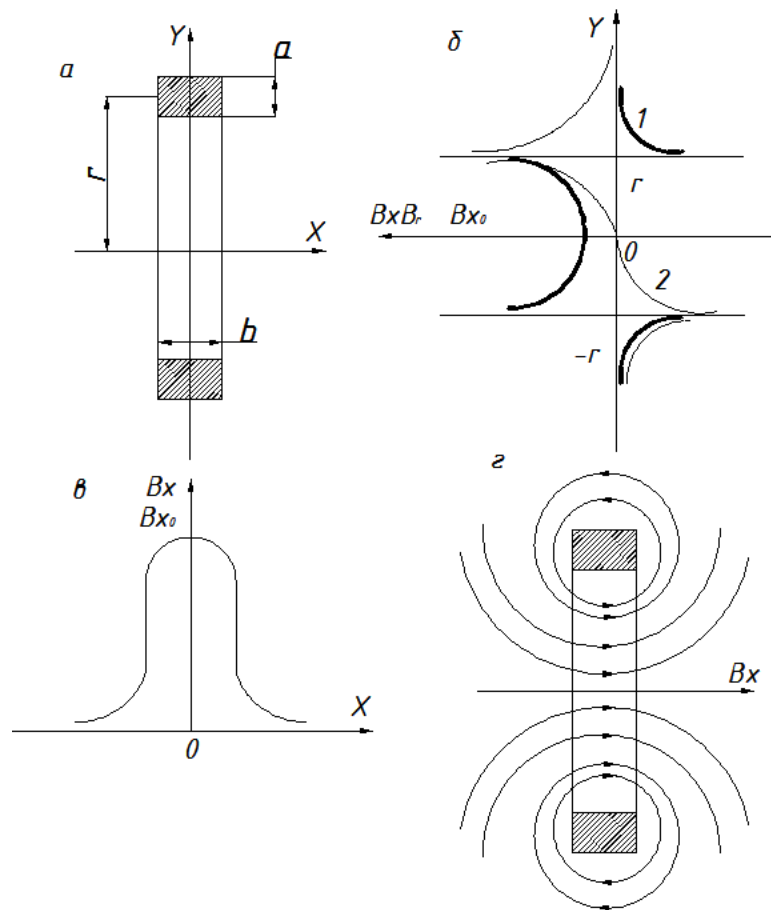


Рис.1.16. Коротка циліндрова котушка [64]: а) геометрія; б) розподіл індукції B_x (крива 1) і B_r (крива 2) по перетину; в) розподіл індукції B_x по осі; г) силові лінії магнітного поля

При сумірних розмірах a , b і r котушки розрахунок магнітної індукції істотно ускладнюється. Крім того доводиться враховувати конфігурацію котушки і розсіювану потужність. Формули для розрахунку радіальної B_r , аксіальними B_x складових і градієнта $gradB$ магнітної індукції досить складні.

Короткі циліндрові котушки широко застосовуються в магнітотерапії. У апараті «Полюс-101» використовуються дві катушки (розміри 0220x0264x35 мм), які можуть фіксуватися в будь-якому положенні. Живлення здійснюється синусоїдальним струмом. Апарат «Полімаг» забезпечений декількома циліндровими (розміри 0126x0136x15 мм) і епілептичними (розміри 195x79x15 мм) котушками, що живляться імпульсним струмом. Апарату «Алімп-1» додаються вісім катушок (внутрішній діаметр 105 мм і 185 мм), які живляться імпульсним струмом і можуть створювати магнітне поле, що обертається. У вказаних пристроях індуктори можуть як надіватися на кінцівці пацієнта, при цьому вектор магнітної індукції B_x направлений уздовж кінцівок, так і накладатися на різні ділянки тіла, при цьому вектор B_x перпендикулярний поверхні тіла людини. У стаціонарному пристрої «Магнетодіафлюкс» (Румунія) є дві великі катушки (0540x0545x170 мм і 0275x 0365x50 мм), які надівають на шию і поперек пацієнта

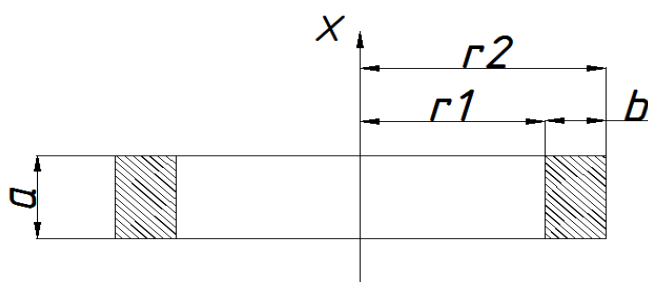


Рис.1.17. Тонка циліндрична катушка [40]

Лінії магнітної індукції направлені уздовж тіла від ніг до голови. Живляться індуктори пульсуючими струмами декількох частот, а в пристрої передбачені різні режими живлення (безперервний, переривистий,

ритмічний, неритмічний). Навпаки, в апараті «Магніт Н-80» (Болгарія) є дві пари невеликих по розмірах індукторів (035x0130x30 мм і 015x070x17 мм), які накладаються на різні ділянки тіла, здійснюючи локальну дію (вектор магнітної індукції перпендикулярний поверхні тіла людини). В цьому випадку магнітні поля концентруються в невеликій області, що дає можливість впливати на біологічно активні точки[76].. Живлення індукторів здійснюється синусоїдальним струмом.

Таким чином, в коротких циліндрових котушках для лікування однаковою мірою використовується як внутривиткове поле, де силові лінії направлені уздовж тіла і кінцівок пацієнта, так і торцеве поле, в якого аксіальна складова вектора магнітної індукції перпендикулярна поверхні тіла.

Система двох плоских циліндрових котушок (котушки Гельмгольца). Дві плоскі циліндрові котушки, розміщені так, щоб різнойменні полюси знаходилися один напроти одного, утворюють систему Гельмгольца. Відмітною особливістю системи двох паралельних котушок є те, що в просторі між ними утворюється досить однорідне і рівномірне магнітне поле, картина силових ліній якого змальована на рис.1.18. Отже, в просторі між котушками існує практично лише одна аксіальна складова B_x вектора магнітної індукції. Із зовнішніх сторін котушок є і радіальна складова B_r . Значення індукції уздовж осі X для двоконтурної системи розраховується по формулі:

$$B_x = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{0.2\pi}{r} \left(\frac{I}{\left(I + \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{r}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{I}{\left(I + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{r}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (1.14)$$

А в точці $X=0$:

$$B_{x0} = \mu\mu_0 N \cdot I \frac{04\pi}{r} \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (1.15)$$

Розподіл аксіальної складової індукції B_x по осі показано на рис. 1.18в, по перетину $X = 0$ - на рис.1.18б.

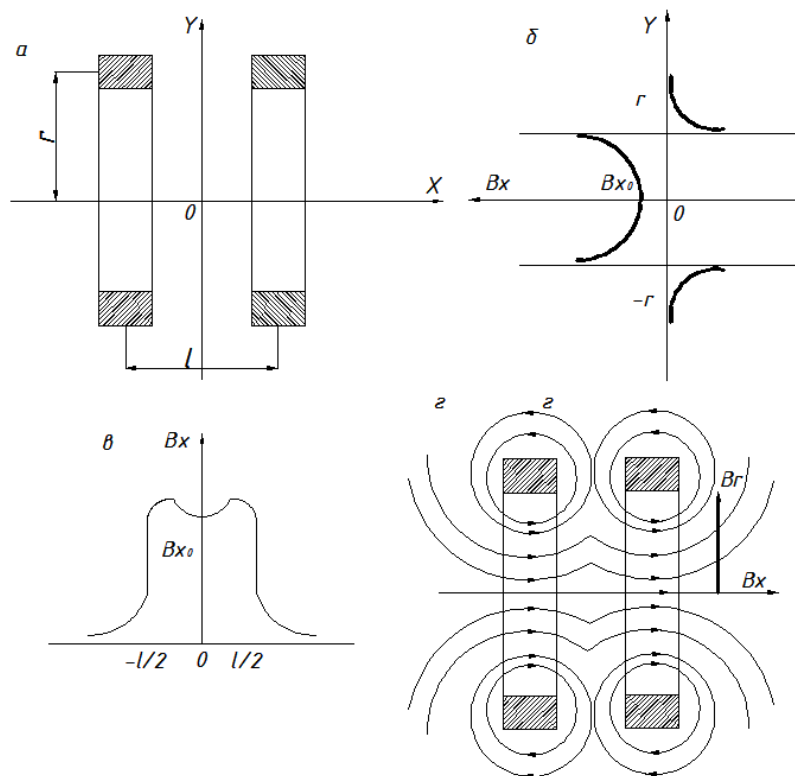


Рис.1.18. Система двох плоских циліндричних котушок: а) геометрія[46]; б) розподіл індукції B_x по перетину $x = 0$; в) розподіл індукції B по осі; г) силові лінії магнітного поля

У згадуваних вище промислових апаратах «Полюс-101», «Полеміг», «Алімп-1», індуктори яких виконані у вигляді кілець (коротких циліндричних котушок), може бути реалізований режим роботи, визначуваний системою Гельмгольца, для здійснення локального дії.

Електромагніт. Пристрій, що складається з котушки індуктивності, як правило, багат шаровою і феромагнітного сердечника називають електромагнітом. Наявність сердечника з великою відносною магнітною проникністю багато разів підсилює і концентрує магнітний потік. Це дозволяє при одних і тих же параметрах магнітного поля істотно зменшувати габарити індукторів. Крім того, використовуючи відповідну конструкцію, технологію і матеріал сердечника, можна формувати поля заданої форми, забезпечувати потрібну глибину проникнення, необхідну міру локалізації і

тому охарактеризувати розподіл магнітного поля в областях простору, частково зайнятих ферромагнітним матеріалом, є черезмірно складним завданням. Залежність скалярного магнітного потенціалу φ_M і нерівномірно розподіленої намагніченості M за об'ємом ферромагнетика описується рівнянням Пуассона [34]:

$$\nabla^2 \varphi_M = -\text{div}M \quad (1.16)$$

Вирішення цього рівняння затруднене, головним чином, тим, що розподіл величини M невідомий. Результати досліджень показують, що в загальному випадку вектори індукції B , напруженості магнітного поля H і намагніченості M не збігаються по напрямку, окрім точок, лежачих на осі (рис.1.19).

Фактично зробити досить точний розрахунок магнітних полів і параметрів розімкнених електромагнітів можливо лише методами моделювання з обробкою на ЕОМ.

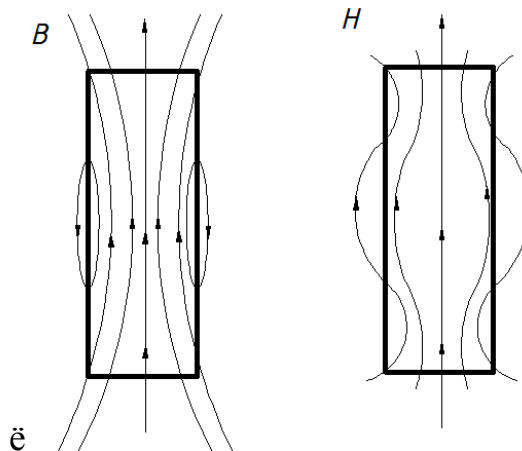


Рис.1.19. Розподіл магнітної індукції B і напруги H магнітного поля в розімкненому зразку ферромагнітного матеріалу [54]

Розподіл магнітної індукції по перетину сердечника не рівномірно (рис.1.20, б, в).

Максимум індукції B_0 досягається в середньому перетині. Розподіл індукції B_x по осі відповідає виразу [39]:

$$B_x = B_0 \left(1 - k \frac{4x^2}{l_c^2}\right) \quad (1.17)$$

де l — довга сердечника, k — коефіцієнт залежний від конструкції сердечника: до = 0,9 — для сердечника круглого перетину; до = 0,75 — для сердечника прямокутного лікування. Моделювання на ЕОМ і багаточисельні експерименти показали, що по перетину магнітна індукція B_y розподілена як це показано на рис.1.20б. Максимум досягається на поверхні сердечника в перетині $x = 0$. Індукція убуває пропорційно квадрату відстані.

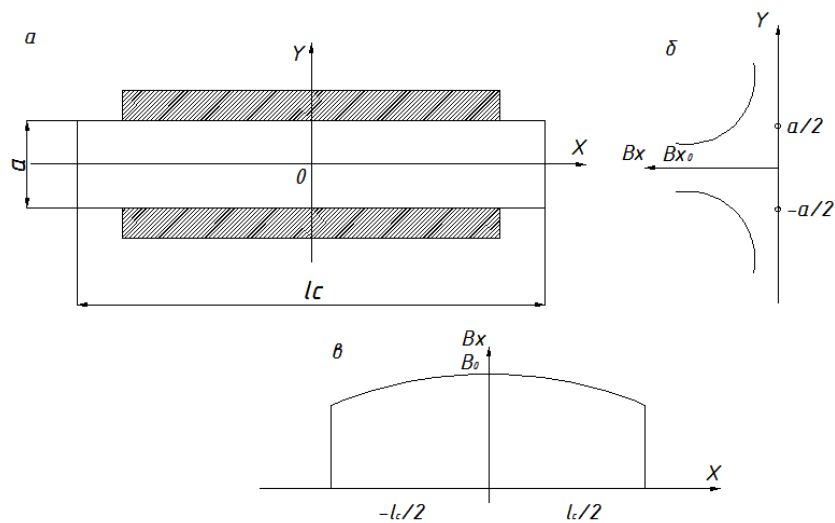


Рис.1.20. Індуктор-електромагніт: а) геометрія; б) розподіл індукції B_y по перетину $x = 0$; в) розподіл індукції B_x по осі сердечника[46]

У практиці магнітотерапії використовуються індуктори-електромагніти найрізноманітніших форм і конструкцій. В першу чергу-це електромагніти з осесиметричними полями (рис.1.21), в яких полюса розташовуються на протилежних торцях прямих сердечників.

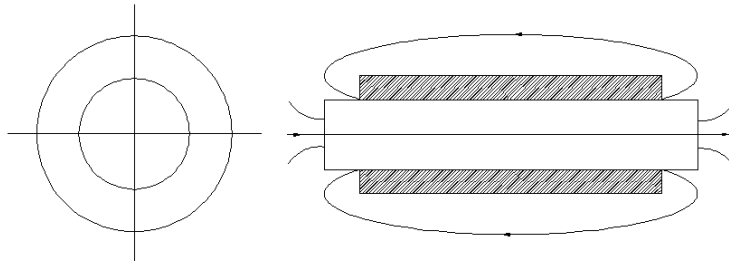


Рис.1.21. Індуктори-електромагніти з осесиметричними полями:
сердечник круглого перетину [47]

Такі індуктори розрізняються формою перетину сердечника (як правило, кругла або прямокутна), а також відношенням довжини до діаметру (площі поперечного перетину). Мають вживання електромагніти з розташуванням полюсів в одній площині, магнітне поле яких нерівномірно і неоднорідний, локалізовано, в основному, в просторі між полюсами і убік від полюсів.

Висновки до розділу 1

Магнітотерапія – один з потужних фізіотерапевтичних методів впливу на організм людини з широким колом показань та великою гаммою позитивних ефектів на живий організм. Існує деяка кількість різновидів магнітних полів, що дозволяє створювати конструкції приладів з різноманітними моделями відтворення магнітного поля та його показників в просторі та часі. Тому є дуже важливим питання дослідження впливу різноманітних магнітних полів на біологічні об'єкти та виявлення змін в структурах організму, щоб досягти максимально ефективною терапевтичної дії. Для цього необхідно контролювати відтворення магнітного поля, його форму та удосконалювати математичне забезпечення зв'язку «джерело магнітного поля-біологічна система», що і буде описано в наступному розділі.

РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНОЇ АПАРАТУРИ

Питаннями розрахунку магнітних полів займалися й продовжують займатися ряд наукових шкіл, численні наукові колективи, вчені та інженери-розроблювачі.

Наявні підходи та методи рішення задач розрахунку магнітних полів різні по постановці, складності чисельної реалізації, можливостям повного врахування реальної геометрії магнітної системи і реальних магнітних властивостей компонентів, що в неї входять. В зв'язку з необхідністю проведення багатоваріантних розрахунків при проведенні оптимізації конкретних електротехнічних пристроїв залишається необхідність в розробці уточнених математичних моделей для збільшення точності, зниження трудомісткості і скорочення часу розрахунку магнітного поля в цих пристроях. Незважаючи на великі можливості використовуваної в подібних розрахунках обчислювальної техніки, проблема розробки більш ефективних математичних моделей для розрахунку магнітних полів на даний час ще невичерпана повністю.

2.1 Математична модель взаємодії

Магнітні хвилі не видно на відміну від механічних. Магнітна хвиля утворюється завдяки взаємному зв'язку змінних електричних і магнітних полів. Зміна одного поля призводить до появи іншого. Як відомо, чим швидше змінюється з часом магнітна індукція, тим більше напруженість виникає електричного поля. І в свою чергу, чим швидше змінюється напруженість електричного поля, тим більше магнітна індукція [49].

Магнітні коливання поширюються у вигляді магнітних хвиль. У них відбуваються взаємні перетворення електричного і магнітного полів, які утворюють змінне магнітне поле.

При віддаленні від заряду доводиться зважати на члена i , чим далі дана точка від змінного заряду, тим пізніше потенціал в цій точці «прореагує» на зміну заряду і зміниться. З цієї причини функція носить назву "Потенціалу, що запізнюється". Оскільки у вираженні для потенціалу, що запізнюється, входить функція від комбінації двох аргументів, то це означає, що сферична хвиля потенціалу поширюється від пульсуючого заряду на всі боки із швидкістю світла.

Сферична хвиля потенціалу, що поширюється від пульсуючого заряду на всі боки із швидкістю світла.

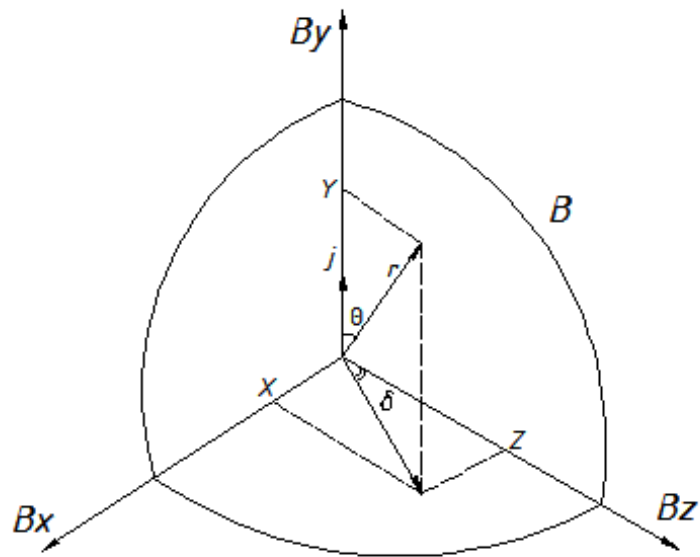


Рис.2.1. Векторне зображення розподілення магнітної індукції в просторі [42]

Маючи рішення для точкового джерела, легко скласти рішення для загального випадку об'ємного розподілу зарядів, аналогічно (Рис.2.1) [38]:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{\rho(t - \frac{r}{v})}{r} dv \quad (2.1)$$

де t — час, v — швидкість розповсюдження хвилеподібного руху, ϵ — діелектрична постійна; ρ — густина речовини; r — радіус розповсюдження.

Так як при рішенні рівнянь виникають аналогічні питання, то, з урахуванням співвідношень з магнітостатики запишемо рівняння для магнітного векторного потенціалу, що запізнюється, у вигляді

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\bar{j}(t - \frac{r}{v})}{r} dv \quad (2.2)$$

Де t — час, v — швидкість розповсюдження хвилеподібного руху, ρ — густина речовини; r — радіус розповсюдження, V — об'єм, μ — фазова постійна розповсюдження [49].

Розташуємо вертикально в центрі уявної сфери радіусу r дуже короткий відрізок лінійного струму, орієнтувавши його уздовж полярної осі z , рис.2.1. Введемо в розгляд як сферичні координати (радіус r , азимут, кут відміни), так і прямокутні координати (x, y, z) .

Оскільки струм збуджуючий поле, орієнтований вертикально, то відповідно до формули 2.2 і вертикальний магнітний потенціал буде орієнтований вертикально, це означає, що $A_x = A_z = 0$, $A_y = |A|$

У розглянутому випадку і з урахуванням гармонійного характеру зміни струму в часі, може бути зведено до виду[43]:

$$A_y = \frac{\mu}{4\pi} \int_0^l \frac{I \cdot e^{-idz}}{r} dl = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{Il}{r} \cdot e^{-idz} \quad (2.3)$$

Де I — сумарна сила струму, що протікає через поперечний переріз провідника із струмом, l — довжина лінії струму, μ — фазова постійна розповсюдження.

Бажаючи перейти від потенціалу до звичніших векторів скористаємося рівнянням [44]:

$$\begin{aligned}
B_x &= \frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial A_y}{\partial z}, \\
B_y &= \frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) = 0, \\
B_z &= \frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) = +\frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial A_y}{\partial x}.
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Де μ — фазова постійна розповсюдження, A — сумарна сила струму по векторам розповсюдження.

Як і слід було чекати, магнітне поле навколо вертикального струму має тільки горизонтальні складові.

З обліком (1.24), компоненти вектора напруженості магнітного поля можуть бути записані у виді рівняння по магнітній індукції [44]:

$$\begin{aligned}
B_x &= -\frac{1}{\mu} \cdot \frac{z}{r} \cdot \frac{\partial A_y}{\partial r} \\
B_z &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{x}{r} \cdot \frac{\partial A_y}{\partial r}
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Тепер модуль вектора B обчислюється елементарно просто по рівнянню [44]:

$$\begin{aligned}
B &= \sqrt{B_x^2 + B_z^2} = \frac{Il}{4\pi} \left(\frac{1}{r^2} + i \frac{\alpha}{r} \right) \cdot \frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{r} \cdot e^{i\alpha r} = \\
&= \frac{Il}{4\pi} \left(\frac{1}{r^2} + i \frac{\alpha}{r} \right) \sin \theta \cdot e^{i\alpha r}
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Де x, y, z — координати розповсюдження магнітної індукції (рис.2.1), e — константа натурального логарифма, α — кут між векторами.

В отриманому вираженні звертає на себе увага складна залежність магнітного поля від відстані. Розкриємо фізичний сенс цієї залежності, для чого розглянемо член формули $\left(\frac{1}{r^2} + i \frac{\alpha}{r} \right)$.

Співмножник в круглих дужках дозволяє розглядати магнітне поле в оточенні диполь просторі у вигляді двох компонент. Одна компонента магнітного поля змінюється обернено пропорційно до квадрата відстані, а інша — обернено пропорційно до першого його ступеня [68].

Компонента, що убуває з відстанню по квадратичній залежності, відповідає, як відомо з основного закону магнітостатики — закону Біо і Савара, магнітному полю короткого елемента струму. Частина простору, що безпосередньо примикає до диполя, в якій ця компонента є переважаючою, називається зоною індукції або ближньою зоною [51-52]. У цій зоні магнітне поле «встигає йти» за усіма змінами струму в збуднику і цим нагадує випадок магнітостатики, коли магнітне поле в точності обумовлюється величиною постійного струму.

Компонента, обернено пропорційна до першого ступеня відстані, на достатньому видаленні від збудника починає мати переважаюче значення і утворює так звану далеку зону(хвилеву зону). У цій зоні переважають вже не індуктивні поля, а вільні поля радіохвиль, що відірвалися від джерела. Вони існують абсолютно самостійно і відносять з собою частину енергії, витраченої на підтримку в збуднику струму [54]. Хвилі, що утворюють далеку зону, навіть поблизу вібратора не сінфазні зі струмом, про що говорить наявність уявної одиниці - оператора повороту фази на 90 градусів.

Легко показати, що зміна напруженості за законом зворотної пропорційності відстані, є ознакою того, що вібратором дійсно випромінюється в простір вільна енергія [53,55].

Для цього, передусім, відмітимо, що поля в далекій зоні можуть розглядаються як плоскі хвилі, звідки витікає, що магнітний і електричний вектори пов'язані між собою опором вільного простору.

Потік потужності через квадратний метр поверхні, до якої радіус-вектор спрямований (вектор Умова-Пойнтинга), як відомо, рівний [74]:

$$|\bar{I}| = |\bar{E} \cdot \bar{B}| = \frac{E^2}{120\pi} = B^2 \cdot 120\pi \quad (2.7)$$

Якщо допустити, що випромінювач дійсно віддає в навколишній простір потужність, рівну P , то щільність потоку потужності, рівномірно розподілюваної по поверхні сфери довільного радіусу, буде рівна:

$$|\bar{I}| = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.8)$$

Прирівнюючи (2.7) і (2.8), отримуємо вираження для напруг поля [43]:

$$\begin{aligned} E &= \frac{\sqrt{30 \cdot P}}{r} \approx \frac{1}{r}, \\ B &= \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{30} \cdot r} \approx \frac{1}{r} \end{aligned} \quad (2.9)$$

З (2.9) витікає, що зміна напруженості поля відповідно до закону $1/r$, може вважатися достовірною ознакою факту випромінювання вільної енергії. Рівняння (2.9) і подібні до них носять назву формул ідеальної передачі [56].

2.2 Магніточутливість організму

Дане питання відноситься до проблеми не енергетичного впливу слабких низькочастотних електромагнітних полів (ЕМП) на функціональний стан організму людини. Дослідження останніх десятиліть переконливо підтвердили інформаційну роль і значення для біологічних систем слабких МП. Встановлено, що сигнали низьких частот, спеціальним чином модульовані, і що мають дуже слабку енергію, можуть робити істотний вплив на життєдіяльність і гомеостаз (баланс) функціональних систем організму людини [58].

Очевидно, що в організмі існує деякий механізм центральної регуляції фізіологічних процесів, взаємозв'язаний з параметрами зовнішніх магнітних полів, що змінюються. Це дозволяє припустити існування в організмі людини

системи сприйняття змін МП зовнішнього середовища і підтримки біоелектричного гомеостазу, що забезпечують нормальний фізіологічний стан клітин. Висловлюються припущення, що роль такої сенсорної системи можуть виконувати точки акупунктури (ТА) і енергетичні меридіани організму [60]. Дана система магнітної чутливості є афферентним входом, через який організм постійно контролює якісні і кількісні параметри МП. Ця інформація інтегрується в мозку з аналогічною інформацією, отриманою через систему висцеросенсорної чутливості від внутрішніх органів, і використовується для запуску адаптивних механізмів, направлених на ослаблення або повну компенсацію негативних змін функціональних системах організму. Меридіани, що сполучають ТА, розглядаються як система електричних провідників, за допомогою якої відбувається сприйняття і обробка магнітних інформаційних взаємодій організму із зовнішнім середовищем [61-63].

Відомо, що зовнішні дії МП на організм складається з нейрофізіологічних, нейрогуморальних і генералізованих вегетативних зрушень, що характеризують загальну реакцію організму, яка в більшій своїй частині має характер реакції адаптації. Ядром загальної реакції є включення регулюючих утворень головного мозку, що забезпечують узгоджені зміни у функціональних системах, а також зміна загального вегетативного тону організму [65]. Це дозволяє використовувати для оперативного контролю психофізичного стану вегетативні тести, що дозволяють шляхом визначення порушень рівноваги між окремими меридіанами з'ясувати рівні порушеної рівноваги в системах організму.

Виходячи з вищесказаного, ми припустили, що біоінформаційний підхід до дослідження стану організму, заснований на положеннях традиційної рефлексодіагностики, системи меридіан і біологічно активних ТА, може бути інформативний для комплексної експрес оцінки магніточутливості організму і його реакцій на загальну дію ЗМП [64-66]. Визначення чутливості організму

до дії ЗМП необхідне для індивідуального підбору ефективних параметрів і режимів проведення магнітотерапевтичних процедур.

Оскільки функціональний стан організму може швидко міняється під впливом різного роду хімічних і фізичних агентів, то важливою гідністю біоінформаційних методів діагностики є їх висока чутливість до тонких змін стану досліджуваного об'єкту під впливом слабких інформаційних чинників [67].

2.3 Принципи створення змінного магнітного поля

Останніми роками проблема дії низькочастотних магнітних полів (МП) слабкої інтенсивності на біологічні об'єкти привертає пильну увагу дослідників. Згідно сучасним уявленням, слабкі низькочастотні МП здатні надавати регулюючу дію на адаптаційно-захисні системи, яку обумовлюють природну резистентність організму. Отримані об'єктивні дані по впливу змінних магнітних полів (ЗМП) на пухлинний процес, які вимагають критичного аналізу і узагальнення. У цьому плані представляється важливим дослідження механізмів біологічної дії ЗМП, що визначають зв'язок між процесами рецепції ЗМП і характером функціональної відповіді на дію. Складність проблеми полягає в тому, що необхідно враховувати різноманіття різних чинників, що впливають на обробку магнітного сигналу в біологічному об'єкті. В даний час не існує єдиного погляду на фізико-хімічні механізми впливу ЗМП нетеплової інтенсивності на біооб'єкти. Огляд існуючих уявлень про біологічну активність ЗМП дозволяє виділити два основні підходи до цієї проблеми.

Перший пов'язаний з уявленням про енергетичну взаємодію, де головна роль у формуванні у відповідь реакції відводиться енергії ЗМП. У [46] розглянута мембранна і цитоплазма осциляторні моделі неспецифічної взаємодії ЗМП з мікроструктурами клітини. В рамках цих моделей перетворення енергії ЗМП в кінетичну енергію молекул здійснюється за допомогою флуктуаційно-імовірнісних, ендогенних, осциляторних

процесів, що реалізуються через механізми тригерів клітини при регулюючій ролі іонів Ca^{2+} . Механізм дії ЗМП полягає в зміні мембранній проникності клітини для іонів Ca^{2+} , і/або вивільнення Ca^{2+} з внутріклітинних кальцієвих депо, що робить істотний вплив на активність окислювально-відновлювальних ферментів. Мембранний і цитоплазма осцилятори можуть співіснувати в одній клітині і взаємодіяти, причому зв'язок між ними здійснюється за допомогою Ca^{2+} . Внутріклітинний рівень кальцію в рівній мірі залежить як від проникності мембрани, так і від внутріклітинних метаболічних процесів.

Другий підхід пов'язаний з аналізом можливої інформаційної взаємодії ЗМП з елементами біологічної системи. Специфічна дія ЗМП в цьому випадку обумовлена нелінійним характером його впливу на стан біосистем, що може виявлятися у вигляді спостережуваних в експериментах нелінійних ефектів. Для дослідження цих ефектів можуть бути застосовані методи математичного апарату нелінійної динаміки, що дозволяють глибше зрозуміти механізми дії ЗМП, і тонше описувати різні стани біологічних систем [68].

Дослідження останніх років переконливо підтвердили енергетичну і інформаційну роль і значення для біологічних систем слабких МП при їх спеціальній організації, тобто, при певних частотах, амплітудах і законах модуляції. При цьому висловлюються припущення про існування в організмі системи підтримки біоелектричного гомеостазу, і про наявність деякої сенсорної системи сприйняття змін зовнішніх МП, і їх впливи на динаміку біоритмів живих організмів [69]. Ефект перебудови біоритмів під впливом змінних полів малої амплітуди має значення, перш за все, для специфічної корекції стану організму з патологічно зміненими характеристиками базових біоритмів.

2.3.1 Математична модель динамічної системи

Під динамічною системою розуміють об'єкт або процес, стан якого може бути однозначно визначений в кожен момент часу сукупністю деяких величин. Головним критерієм ефективності моделі є її відповідність описуваним реальним процесам, що підтверджується порівнянням результатів теоретичного аналізу з результатами експериментів на конкретних об'єктах [77].

Для визначення математичної моделі динамічної системи з безперервним часом, що моделює реакції організму людини на дію слабого ЗМП, використовуватимемо набір величин x_1, x_2, \dots, x_{24} , що представляють дані акупунктурної діагностики, зміряні, відповідно, для 12 лівих і 12 правих меридіанів. Величини x_1, x_2, \dots, x_{24} у кожен момент часу характеризує строго певний стан динамічної системи. Математично їх можна розглядати як координати точки А в деякому просторі станів, який називають фазовим простором динамічної системи. Розмірність фазового простору визначається кількістю змінних величин.

Для моделювання зміни стану динамічної системи можуть бути використані звичайні диференціальні рівняння. Якщо динамічна система, моделюється кінцевим числом звичайних диференціальних рівнянь, то її називають зосередженою.

Відомо, що фізіологічна активність роботи органів і систем організму представляє циклічний процес, що характеризується періодами підвищеної і зниженої життєдіяльності. Отже, досліджувана система може бути віднесена до класу коливальних динамічних систем. За енергетичною ознакою досліджувана динамічна система є неконсервативною, оскільки випробовує зовнішню дію (у вигляді ЗМП), і в ній встановлюються вимушені коливання, які залежать від амплітуди і фази дії, що надається [78]. В цьому відношенні досліджувана система буде найбільш близька до класу автоколивальних систем, які перетворюють енергію джерела в енергію незгасаючих коливань.

Автоколивальні динамічні системи за своєю суттю є нелінійними і неконсервативними. Їх основні параметри (амплітуда, частота, форма коливань і так далі) визначаються параметрами системи, і не залежать від початкового стану. Важливою властивістю цих систем є існування періодичного, асимптотика стійкого режиму коливань. У фазовому просторі цей режим характеризується замкнутою траєкторією у вигляді петлі, який називають граничним циклом. Граничний цикл є стійкою ізольованою траєкторією, до якої незалежно від початкових умов з часом притягуються траєкторії всіх початкових режимів, утворюючи граничні множини, які в математиці називають аттрактори. Аттрактори бувають статичні (фіксована точка), періодичні (граничний цикл), квазіперіодичні (тор) і хаотичні (дивний аттрактор). Для будь-якої динамічної системи, що має декілька аттракторів, всі допустимі початкові точки у фазовому просторі лежать в області тяжіння одного з них. При незначних зовнішніх діях системи можуть "перескакувати" з одного аттрактора на іншій. Такий стрибок називається біфуркацією, а момент часу, в який він відбувся, – точкою біфуркації. При біфуркаціях відбувається значна якісна перебудова динаміки системи. Якщо на систему із стійким граничним циклом надавати обурення сигналом гармонійних коливань низької частоти і малої амплітуди, не пов'язаним з частотою коливань самої системи, то це приведе до того, що фазова траєкторія із заданою частотою обертається навколо граничного циклу і лежить на тороїдальній поверхні. Аналогічно випадку граничного циклу ця поверхня буде стійкою граничною множиною, до якої стягуються з часом всі траєкторії з деякої околиці тора.

Таким чином, враховуючи вище сказане, можна припустити, що в класифікації динамічних систем наша система найбільш близька класу автоколивальних систем. При цьому область тяжіння системи (аттрактор), розглядатимемо, як стан гомеостазу, до якого в організмі релаксують всі процеси після зовнішньої дії.

2.3.2 Аналіз роботи математичної моделі

Завданням якісного аналізу математичної моделі є знаходження стаціонарних рішень – особливих точок і граничних циклів, дослідження їх стійкості, і визначення областей тяжіння стійких стаціонарних режимів у фазовому просторі. Особливе значення має визначення біфуркаційних ситуацій і їх залежність від параметрів системи, при яких відбувається зміна стаціонарних режимів. Результатом цих змін може бути як підвищення ефективності роботи системи в зовнішніх умовах, що змінюються, так і її деградація[48].

Для якісного аналізу математичної моделі бажано її максимально спростити. З цією метою скористаємося деякими наближеннями:

– Дію ЗМП розглядатимемо, як деяке низькочастотне обурення системи зовнішнім гармонійним сигналом: $B(t) = B \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, що має малу амплітуду, $-B$, і частоту $-\omega$, яка не пов'язана з частотою періодичних коливань самої системи, і має по відношенню до неї зрушення по фазі.

Зроблені наближення дозволяють для математичного уявлення досліджуваною нами динамічної системи скористатися диференціальним рівнянням нелінійного осцилятора з вимушеними коливаннями, відомим в математиці, як рівняння Дуффінга. Це рівняння моделює вимушені коливання нелінійного осцилятора для однієї змінної, розглядається в багатьох завданнях і має вигляд [72]:

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \lambda \frac{dz}{dt} + z(1 + \mu z^2) = B \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.10)$$

У лівій частині рівняння параметри λ і μ характеризують стійкість функціонування системи, а права частина задає періодичну модуляцію з частотою ω . У фазовому просторі даний нелінійний осцилятор утворює безліч фазових траєкторій, асимптотика прагнучих до граничного циклу, на якому за час періоду коливань частки розсіюваної енергії, що вноситься, компенсуються. При зміні параметрів λ , μ всі цикли функціонування системи еволюціонують. Еволюція системи представляє перехідний процес, під час

якого коливання стають такими, що не повторюються в часі, безладними і хаотичними. Рівняння не має аналітичного рішення, і вирішується із застосуванням чисельних методів.

Залежно від розташування фазових траєкторій в околиці особливих точок розрізняють стійкі або нестійкі вузли і фокуси. Стійкість системи визначається знаком похідної $d(z)/dt$ в околиці точок, відповідних приватним вирішенням рівняння. Шукатимемо стаціонарне вирішення даного рівняння у вигляді гармонійної функції $z(t) = y \cos t \Omega$, де y і Ω – амплітуда і частота коливань осцилятора. Тоді, за допомогою ряду підстановок і наближень, рівняння може бути зведене до зручного для аналізу вигляду[72]:

$$y^2[\alpha^2 \cdot \Omega^2 + (1 - \Omega^2 + 0.75cy^2)] - 1 = 0 \quad (2.11)$$

Рівняння для деякого діапазону частот Ω може мати два стійких і одне нестійке рішення. В цьому випадку, при певному співвідношенні параметрів a і c , що визначають його нелінійність, рух системи може проходити через точки втрати стійкості, і на кривій $y = f(\Omega)$, яку називають резонансною, виникають точки біфуркації. В інтервалі частот, прилеглих до частот зриву (праворуч від ω_2 і зліва від ω_1), відбувається зміна стійкості системи, і перехід до нового стаціонарного стану з іншою амплітудою коливань. Отже, в досліджуваній нами моделі при $\omega > \omega_2$ може існувати стійкий режим вимушених коливань із значно меншою амплітудою. При аналізі модельних даних, треба мати на увазі, що вживаний алгоритм дозволить отримати надійний результат тільки у разі коректної підбраної математичної моделі. Для оцінки адекватності запропонованої моделі характеристики “модельного” аттрактора можуть бути порівняні з характеристиками “експериментального” аттрактора. В даний час для отримання стійких результатів розроблені різні методи оптимізація алгоритму за наслідками модельних і експериментальних даних.

Висновки до розділу 2

Таким чином, дослідження якісної картини особливостей функціонування динамічної системи за допомогою математичної моделі дозволяє в першому наближенні інтерпретувати можливі реакції організму на періодичні дії слабкого ЗМП. Основним результатом дослідження можна вважати підтвердження експериментального факту можливості існування реакції організму людини на мале обурення ЗМП у вигляді переходу через точки біфуркації, і зміну одного стаціонарного режиму функціонування на інший. При цьому позитивному ефекту відповідатимуть такі магнітостимулюючі зміни, в результаті яких стане можливим стрибкоподібний перехід в новий фізіологічний стан, наближеніший, до так званої, “норми хаотичності”. Причиною для такого переходу, мабуть, є те, що параметри реальної системи не залишаються постійними тривалий час, і можуть змінюватися з різних причин, зокрема, і в результаті зовнішньої періодичної дії ЗМП.

Розглядаючи вище приведені міркування в прикладному плані вивчення лікувальної дії ЗМП на організм людини, можна рекомендувати застосування методів математичного моделювання для розробки принципів підбору параметрів сигналу поля, здатного викликати якісний перехід фізіологічного стану від деградації до самоорганізації.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНУ ТКАНИНУ

Із всього різноманіття сучасної магнітофізіотерапевтичної апаратури, що створює магнітне поле природного чи штучного характеру, що впливають на біологічні системи, найбільш біологічно активними і ефективними являються імпульсні магнітні поля (ІМП) в діапазоні до 100 мТл. Тому в сучасному медичному приладобудуванні значну роль відіграє розробка нових зразків та широке впровадження в практику імпульсної магнітофізіотерапевтичної апаратури (ІМФТА). Динамічний діапазон таких приладів складає від одиниць міліТесла (мТл) до 100 і більше мТл, частотний діапазон – від десятих частин Герца до сотень кілоГерц, тривалість імпульсів магнітного поля – від одиниць мікросекунд до сотень мілісекунд. Подібні дослідження здійснювали ряд вітчизняних та зарубіжних вчених.

Під час проведення фізіотерапевтичних процедур важливо, як найбільше, досягти ефективної керованості параметрами магнітного поля, зокрема його динамічним, часовим і частотним діапазонами (МП) в зоні дії поля на біологічну тканину. Це дозволить досягти значного терапевтичного ефекту від ІМП та більш точно дослідити наслідки та закономірності впливу поля на біологічну тканину. Для таких приладів важливу роль відіграє автоматизація процесу відтворення та управління дією поля під час терапевтичної процедури.

3.1. Переносний апарат для низькочастотної магнітотерапії «МАГ-30-4»

Апарат «МАГ-30-4» (рис.3.1) призначений для контактної лікувальної дії синусоїдальним магнітним полем промислової частоти 50 Гц у фізіотерапевтичних кабінетах і палатах лікувально-профілактичних установ, а також вдома в діапазоні індукції від 10 до 30 мТл.



Рис.3.1. Апарат «МАГ-30-4».

Основні параметри апарату:

- частота зміни магнітного поля 50 Гц;
- вид струму живлення індукторів: синусоїдальний;
- режими живлення індукторів: безперервний;
- найбільша амплітуда магнітної індукції на робочій поверхні до 30 мТл.

Живлення індукторів здійснюється від промислової мережі безпосередньо. Портативний апарат для низькочастотної магнітотерапії «Маг-30» представляє собою С-образний феромагнітний сердечник з двома обмотками.

Електрична частина апарату і індуктор поміщені в пластмасовий корпус. Робочою поверхнею індуктору є одна з плоскостей корпусу. На робочій поверхні є два різнойменні полюси.

Конструкція апарата передбачає два способи застосування. У нерухомому стані за рахунок кріпильних ременів, які входять до складу апарату. Вони фіксують апарат в районі пошкодженої поверхні. У рухомому стані за допомогою ручки. Вона дозволяє збільшити площу дії магнітного поля і його ефективність.

Фізіологічний механізм дії магнітного поля апарату:

Низькочастотне синусоїдальне магнітне поле надає анальгезируюче і протизапальну дію, покращує мікроциркуляторні процеси і місцевий кровообіг, сприяє розсмоктуванню запального і травматичного набряку і, покращуючи умови для відновлення пошкоджених тканин, прискорює репаративну регенерацію. Низькочастотне магнітне поле сприяє посиленню гальмівних процесів в центральній нервовій системі (покращує загальний

стан, сон, зменшує дратівливість), надає неспецифічну дію на імунологічну реактивність організму. Дія магнітним полем не викликає утворення ендогенного тепла і підвищення температури в тканинах, роздратування шкіри. При дії низькочастотним магнітним полем наголошується хороша переносимість у ослаблених хворих, хворих літнього віку, страждаючих супутніми захворюваннями серцево-судинної системи, що дозволяє застосовувати апарат у багатьох випадках, коли дія іншими фізичними чинниками (зокрема УВЧ, НЗВЧ-терапія) не показана. Локальні дії магнітного поля обуславлюють загальну адаптаційну перебудову всього організму і протизапальні ефекти у віддалених від місця дії областях[71]. При дії відчуття, як правило, відсутні. Якщо в зону дії потрапляє нервовий центр, то іноді з'являються больові відчуття, що сприяє відновленню адекватної реакції організму на внутрішні порушення (болі швидко проходять). Лікування хронічних захворювань, як правило, протікає через загострення хворобливих відчуттів в перших 5-10 днів, які поступово зникають в кінці курсу лікування. При важких формах захворювань хворобливі відчуття можуть зникнути тільки при повторному курсі лікування.

3.2. Магнітофізіотерапевтичний апарат «МИТ-11»

Апарат для фізіотерапії комбінований «МИТ-11» (рис.3.2) призначений для лікування пацієнтів з використанням імпульсного магнітного поля, низькочастотного і середнечастотного ультразвуку (УЗ). Перевагою магнітофізіотерапевтичного апарату є трирівневий принцип дії. Трьохрівнева дія - це одночасна дія на центральну нервову систему (проекція довгастого мозку), периферичну нервову систему (сегмент хребта) і на сам орган або його проекцію. Важливе значення має можливість апарату забезпечувати резонансний принцип дії на орган або функціональну систему в цілому[72].

Магнітофізіотерапевтичний апарат призначений для лікування: захворювань опорно-рухового апарату, больових синдромів і запальних

процесів, гінекологічних і урологічних захворювань, захворювань ЛОР органів. Апарат використовується в дерматології (ультразвукова шліфовка і чищення шкіри), а також при проведенні ультрафонофорезу лікарських препаратів і кремів. «МИТ-11» додатково може укомплектовуватися вибро-масажною насадкою і магнітолазерною насадкою для внутрішньопорожнинної і зональної лазеротерапії[76].

Магнітофізіотерапевтичний апарат призначений для застосування в медичних лікувальних установах, санаторіях і лікувально-профілактичних комплексах.



Рис.3.2. Магнітофізіотерапевтичний апарат «МИТ-11»

3.2.1 Функціональна схема «МИТ-11»

На рис. 3.3 зображена функціональна схема апарату. При напрузі (U) 220В, частоті 50 Гц сигнал поступає на мережевий фільтр. Від мережевого фільтру сигнал проходить через мережевий трансформатор, стабілізатор (при $U \pm 5В$), мікроконтролер (при $U \pm 5В$) на індикатори. За допомогою клавіатури відбувається керування мікроконтролером[77].

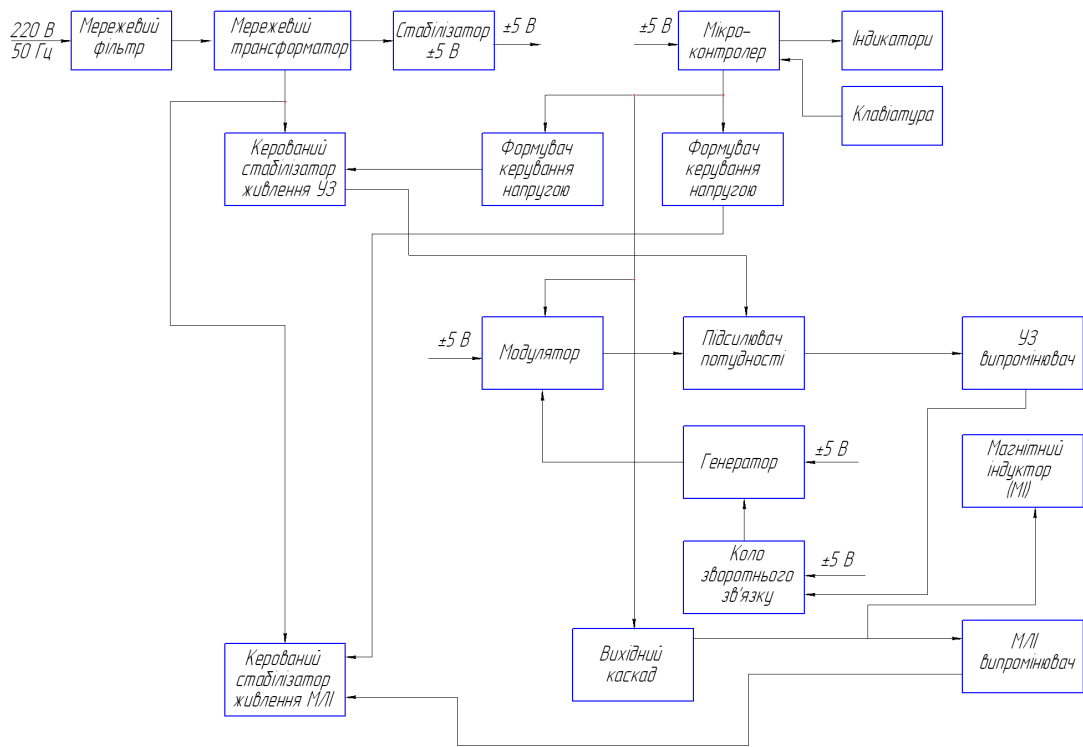


Рис.3.3. Функціональна схема апарату [78]

Від мікроконтролеру (при $U_{\pm 5V}$) сигнал поступає на формувачі керування напругою. На керований стабілізатор живлення УЗ поступає сигнал від мережевого трансформатору та формувача керування напругою. На керований стабілізатор живлення УЗ поступає сигнал від мережевого трансформатору та формувача керування напругою. На підсилювач потужності поступає сигнал від керованого стабілізатора живлення УЗ. Від мікроконтролеру (при $U_{\pm 5V}$) сигнал поступає на модулятор та на вихідний каскад. Сигнал від модулятора (при $U_{\pm 5V}$) проходить через підсилювач потужності, УЗ випромінювач, коло зворотного зв'язку (при $U_{\pm 5V}$), генератор (при $U_{\pm 5V}$) та повертається в модулятор. Від вихідного каскаду сигнал поступає на магнітний індуктор та магнітолазерний інфразвуковий (МЛІ) випромінювач. Потім сигнал проходить через магнітолазерний інфразвуковий (МЛІ) випромінювач на керований стабілізатор живлення МЛІ.

3.2.2. Схема електрична принципова «МИТ-11»

На рис. 3.4 зображена схема електрична принципова апарату. Напряга 220В частотою 50 Гц через запобіжники F1,F2 поступає на трансформатор T1, фільтрується на ємностях C1,C2 та подається на плату A1. До плати за допомогою роз'ємів X2,X3 підключені випромінювач A3 та індуктор A4. Електрична схема індуктора складається з котушок індуктивності L1,L2. Електрична схемі випромінювача складається з пристрою випромінювання В1. На платі йде перебирання елементів ланцюга за напругою. За допомогою джгуту плата A1 з'єднується з платою A2[79].

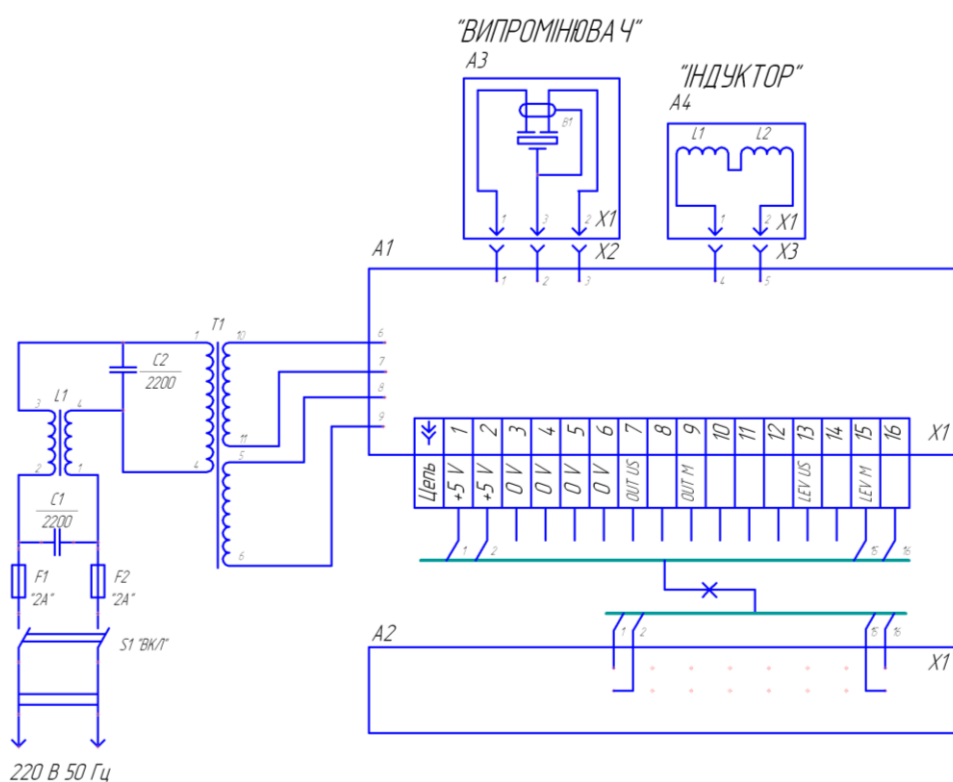


Рис. 3.4.Схема електрична принципова апарату

3.2.3. Технічні характеристики апарату

Технічні характеристики магнітофізіотерапевтичного апарату «МИТ-11М»: робоча частота УЗ коливань – 44 кГц, амплітуда УЗ коливань — 2,3,4 та 5 мкм, максимальна магнітна індукція на поверхні індуктора - соленоїда – 30 мТл, довжина хвилі оптичного потоку в червоному діапазоні спектру - 0,67 мкм, в інфрачервоному діапазоні спектру 0,78 мкм, максимальна

сумарна потужність оптичного потоку від 5 світлодіодів: червоного спектру - 70мВт, інфрачервоного спектру 150 мВт, фіксована зміна магнітної індукції на поверхні індуктора 2, 8, 12, 15, 30 мТл та потужності оптичного потоку, рівне 25, 50, 75, та 100% від максимального значення, діапазон частот модуляції УЗ коливань, оптичного потоку та магнітного поля — від 0 до 99 Гц, у діапазоні від 0 до 9,9 частота встановлюється з кроком 0,1 Гц, у діапазоні 10 до 99 - з кроком 1 Гц, сканування частоти модуляції в діапазоні від 1 до 10 Гц та від 10 до 150 Гц з періодом 10с, час проведення процедури від 1 до 29 хвилин, маса електронного блоку — не більше 5 кг, маса апарату з випромінювачем та індуктором — не більше 6 кг, маса апарату в комплекті поставки - не більше 7 кг, допустиме відхилення частоти $\pm 10\%$, змінний струм, від мережі якого працює апарат має частоту $(50 \pm 0,5)$ Гц і напругу (220 ± 22) В, потужність, яку А, прилад часу апарату забезпечує установку тривалості \square споживає апарат, не більша 60 В процедури від 1 до 99 хв. з допустимим відхиленням $\pm 1 \%$ від встановленого значення, тривалість роботи апарату протягом 6 ч в повторно - короткочасному режимі: 15 хв. роботи і 10 хв. за відсутності випромінювання з подальшою перервою 2 г, середнє напрацювання на відмову — 5000 процедур, середній час відновлення працездатного стану не більше 2 годин, час встановлення робочого режиму апарату після включення не перевищує 30 с, середній термін служби — 5 років[79].

3.3. Спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії

Відомий спосіб, що заключається у впливі на пацієнта біполярним імпульсом магнітним полем, з використанням біполярних імпульсів магнітне поле, що періодично змінюється по амплітуді з індукцією $(5,0 - 80,0)$ мТл. і частотою проходження імпульсів $(0,1 - 20,0)$ Гц., а для формування біполярного імпульсного періодично змінюваного по амплітуді магнітного поля використовують імпульсний струм, що змінюється за синусоїдальним, пілкоподібним чи трапецеїдальним законами, а процес впливу імпульсним

магнітним полем на пацієнта контролюють шляхом заміру значень магнітної індукції на ділянці тіла пацієнта в зоні дії поля та значенням часового та поверхневого градієнтів температури в цій же зоні в період з початку процедури впливу і її закінчення.

Однак цей спосіб не захватує нижню (1 мТл) та верхню межу (100 мТл) низько інтенсивного магнітного поля терапевтичного діапазону підвищеної частоти (100 Гц.) та і забезпечити температурний контроль в зоні контакту магнітних індукторів з біологічною тканиною складно, що суттєво знижує ефективністю фізіотерапевтичної процедури.

Метою даної корисної моделі є розширення функціональних можливостей та забезпечення надійного температурного контролю з зростанням ефективності фізіотерапевтичної процедури.

Поставлена мета досягається тим, що запропонований спосіб низько-інтенсивної імпульсної магнітотерапії, що включає вплив на пацієнта імпульсним магнітним полем, з використанням біполярних імпульсів магнітне поле, що періодично змінюється по амплітуді з індукцією (5,0 – 80,0) мТл. і частотою проходження імпульсів (0,1 – 20,0) Гц., а для формування біполярного імпульсного періодично змінюваного по амплітуді магнітного поля використовують імпульсний струм, що змінюється за синусоїдальним, пилкоподібним чи трапецеїдальним законами, а процес впливу імпульсним магнітним полем на пацієнта контролюють шляхом заміру значень магнітної індукції на ділянці тіла пацієнта в зоні дії поля та значенням часового та поверхневого градієнтів температури в цій же зоні в період з початку процедури впливу і її закінчення, при цьому амплітуди магнітної індукції змінюються в межах (1,0 – 100,0) мТл. і частоти проходження імпульсів лежать в межах (0,1 – 100,0) Гц., а вимір градієнтів температури виконують безконтактно.

Для формування біполярного імпульсного, періодично змінюваного по амплітуді магнітного поля використовувати електричний струм з нормованими значеннями (амплітуди, частоти, тривалості імпульсів)

параметрів, що змінюється за синусоїдальним, пилкоподібні, трапецеїдальним чи іншими законами.

Так, при відсутності феромагнітного осердя в котушці індуктора, значення магнітної індукції $B(t)$ на поверхні катушки, чи між двома такими катушками в випадку – катушки Гельмгольца, що формують впливаюче магнітне поле, дорівнює

$$B(t) = \kappa_g \cdot I(t), \quad (3.1)$$

де κ_g – постійна по магнітній індукції катушки даного типу індуктора, $I(t)$ - імпульсний струм.

На рис 3.5. зображена функціональна схема пристрою, що реалізує даний спосіб.

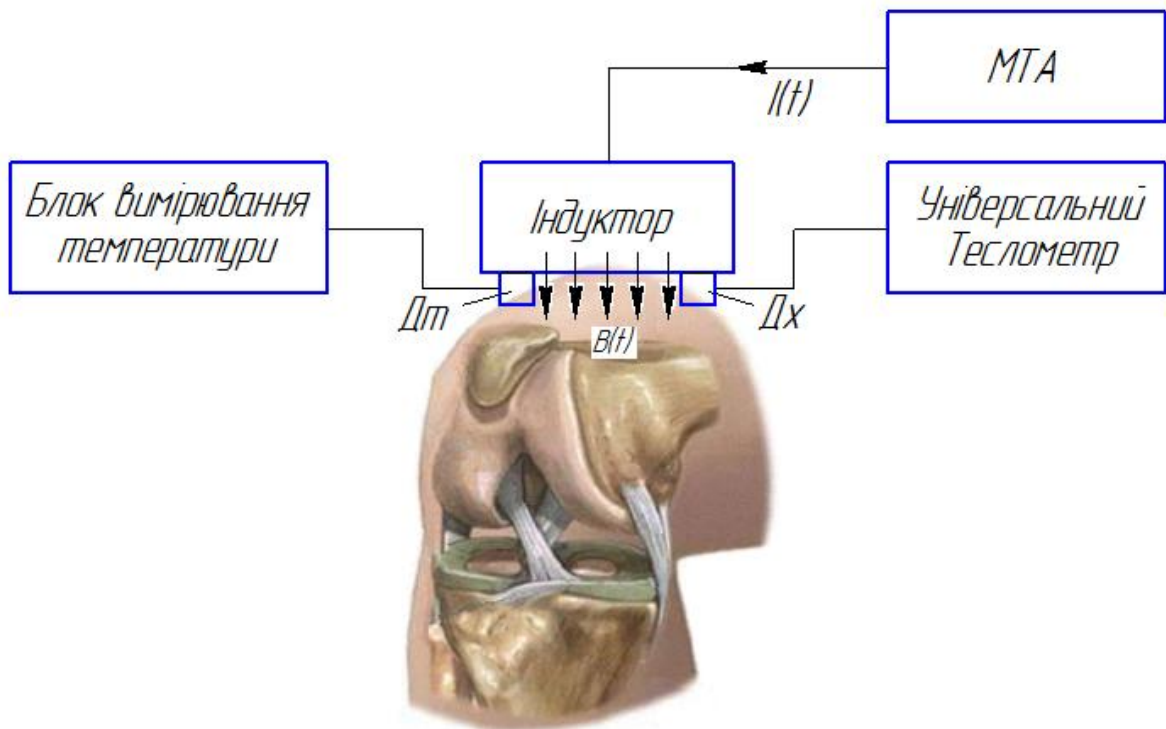


Рис.3.5. Спосіб імпульсної магнітотерапії, функціональна схема [81]

На ділянку тіла пацієнта розміщують індуктор, чи систему індукторів у вигляді катушок Гельмгольца які формують магнітне поле заданої форми індукції $B(t)$ з нормованими (амплітуди, частоти, тривалості імпульсів) параметрами, за рахунок подачі імпульсного струму $I(t)$ з магнітотерапевтичного апарату (МТА).

Значення параметрів магнітного поля , що діє на пацієнта заміряють за допомогою датчика Холла (ДХ) універсальним тесламетром (УТ). А значення параметрів та їх градієнтів температури біологічної тканині пацієнта в зоні дії магнітного поля заміряють високоточним та швидкодіючим безконтактним температурним вимірювачем (БТВ) - тепловізором (Т), як приклад тепловізор «МОВІЛ-3» з індикацією на його екрані.

Такий низькоінтенсивний спосіб імпульсної магнітотерапії здійснюють наступним чином.

Індуктор І установлюють в заданій зоні кінцівки людини чи на тілі пацієнт. З магнітотерапевтичного апарату МТА для формування магнітного поля з заданими нормованими параметрами $B(t)$ по котушці індуктора пропускають імпульсний струм $I(t)$, що змінюється відповідно до заданих законів, з нормованими параметрами та формою.

На рис.3.5. 1 наведені розташування індуктора І магнітотерапевтичного апарату МТА та датчика Холла D_x , безконтактного температурного вимірювача (БТВ) , універсального тесламетра УТ, що має можливість вимірювати значення параметрів магнітної індукції $B(t)$ та її форми імпульсного, змінного та постійного магнітного поля. Безконтактний температурний вимірювач заміряє значення температур в зоні дії магнітного поля на поверхні тіла пацієнта та їх часових і поверхневих градієнтів .

Під час проведення процедури точно нормовані значення магнітне поле заданої форми діють на задану ділянку тіла пацієнта. Датчиком Холла D_x заміряється параметри діючого магнітного поля на біологічній тканині і індикуються на табло універсального тесламетра типу 43205. В зоні дії магнітного поля безконтактним температурним вимірювачем типу тепловізор «МОВІЛ-3» фіксується значення температури з часу початку фізіопроцедури до її закінчення та її часові та поверхневі градієнти.

Для кожної системи, органу, типу і стадії захворювання вибирають необхідні точно нормовані параметри магнітного поля з діапазону (1,0-100,0)

мТл. Такий вибір виконують індивідуально для кожного пацієнта ще до початку лікування та підтримують на протязі всього циклу фізіотерапевтичних процедур.

Магнітна індукція поля вище 100 мТл. може викликати порушення функцій органів і руйнування мембран і клітин, пригнічення метаболізму організму людини, а менше 1,0 мТл - не визиває суттєвого позитивного терапевтичного ефекту. Причому ефективність лікування набагато підсилюється при умові , що задані значення параметрів магнітного поля та її форма дійсно відповідає розрахунковим значенням визначеним до початку лікування і відповідає його протоколу та регламенту. Суттєвий ефект досягається і при зростанні частоти до 100,0 Гц. А виміряні значення температури тіла та її часового і поверхневого градієнтів індують і підтверджують ефективність впливу цієї процедури. Це дає можливість виконувати виміри температур та їх градієнтів практично в влюбій зоні тіла людини[80].

Таким чином, розширення динамічного діапазону по магнітній індукції, як в сторону зростання до 100,0 мТл так і в сторону зменшення до 1,0 мТл з зростанням частотного діапазону до 100,0 Гц та використанням безконтактного виміру значень температур і їх часових та поверхневих градієнтів з їх оцінкою на різних точках та зонах тіла пацієнта забезпечує зростанню ефективності фізіотерапевтичної процедури.

3.4. Експериментальні дослідження впливу магнітного поля на температуру біологічної тканини

Для розробки нових типів магнітофізіотерапевтичних апаратів необхідна нова концепція побудови таких апаратів з можливістю керування параметрами діючого магнітного поля, оцінка впливу магнітного поля на біологічний об'єкт, розділення постійної, змінної та імпульсної складових магнітного поля в самому індукторі та досліджуваному комплексі «вихідний

індуктор-біологічна тканина» та врахування об'єктивної оцінки дії магнітного поля на біологічне середовище.

Такою оцінкою дії магнітного поля може бути зміна параметрів температур біологічного середовища під час проведення фізіопроцедури[80].

Для розрахунків параметрів індуктора припустимо, що значення магнітної індукції мідного індуктора без сердечника носить лінійний характер коливань значень магнітної індукції $B(t)$ при зміні струму $I(t)$.

При впливі магнітного поля на біологічне середовище (БС) зовнішнє магнітне поле взаємодіє з магнітним полем БС[79]. Залежність змін значень амплітуди магнітної індукції $B(t)$ від частоти f та часу t визначає характер теплових ефектів та характеризується, як частотним коефіцієнтом K_f , так і коефіцієнтом k_B – постійної індуктора по магнітній індукції.

Значення коефіцієнта постійної індуктора по магнітній індукції k_B , в низько інтенсивному терапевтичному діапазоні до 100 мТл, залежить від виду магнітного поля (постійне, змінне чи імпульсне):

$$k_B = \sqrt{K_{\text{ВП}}^2 + K_{\text{ВЗ}}^2 + K_i^2}, \quad (3.2)$$

де $K_{\text{ВЗ}}$ – постійна індуктора по магнітній індукції при подачі змінного струму; $K_{\text{ВП}}$ – постійна індуктора по магнітній індукції при подачі постійного струму; K_i - постійна індуктора по магнітній індукції при подачі імпульсного струму.

Теоретико-експериментальні дослідження встановили, що температура $T(^{\circ}\text{C})$ в зоні дії МП прямо пропорційна часу t дії та значенню магнітної індукції $B(t)$ і зворотно пропорційна значенням теплоємності одиниці об'єму C_q , імпедансу Z , площі зони локальної дії S , провідності середовища σ :

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{K_m \cdot K_{\text{БТ}} \cdot K_f \cdot B(t) \cdot t}{Z \cdot C_q \cdot \sigma \cdot S}, \quad (3.3)$$

де $K_{\text{БТ}}$ – коефіцієнт біологічної тканини, K_m – коефіцієнт перетворення сигналу, K_f – коефіцієнт залежності від частоти, σ – провідність

середовища, C_q – теплоємкість одиниці об'єму біологічної тканини, S – площа зони локальної дії.

Значення імпедансу z – біологічних систем визначається тільки омичним R і ємнісним X_C опорами в зоні дії:

$$z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \quad (3.4)$$

а площа зони дії МП обраховується за формулою:

$$S = \pi r^2, \quad (3.5)$$

де r – радіус зони впливу поля.

Підставляючи значення рівнянь (3.4) і (3.5) в формулу (3.3) отримаємо:

$$T(^{\circ}C) = \frac{K_m \cdot K_{BT} \cdot K_f \cdot B(t) \cdot t}{C_q \cdot \sigma \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2}}, \quad (3.6)$$

Промодельюємо вплив магнітного поля на шкіру людини для магнітотерапевтичних апаратів «Маг-30» та «МИТ-11» в їх основних режимах. В формулу (4. 6) підставимо основні дані параметрів та порівняємо з експериментальними даними[80]. Виміряємо і визначимо реальні значення зміни температури як самого індуктора $T_i(^{\circ}C)$ в процесі роботи , так і сумарну, повну температуру $T_n(^{\circ}C)$ при дії на біологічну тканину. Тоді модуль різниці (градієнт) температури яка змінювалась на біологічній тканині буде

$$T_0(^{\circ}C) = |T_n(^{\circ}C) - T_i(^{\circ}C)| \quad (3.7)$$

На базі проведених досліджень отримаємо графіки температурних змін в біологічній тканині в залежності від часу дії магнітного поля та магнітної індукції.

3.4.1. Оцінка змін значень температур біологічної тканини при роботі з МТА «МАГ-30-4»

Вимір значень магнітної індукції виконувався на мілітесламетрі «Ф4356», а температура на та тепловізорі Mobir 3M . При першому досліді ми вимірювали температуру тепловізором на спочатку на поверхні індуктору

апарату «МАГ-30-4», потім на поверхні біологічної тканини під дією магнітного поля. Для виміру значень магнітної індукції використовувався мілітесламетр «Ф4356», а для реєстрації температур — тепловізор «МОВІЛ-3».



Рис.3.6 Мілітесламетр «Ф4356»



Рис.3.7. Тепловізор «МОВІЛ-3».

Результати наведені у табл.3.1.

Таблиця 3.1. Результати температур $^{\circ}\text{C}$ з апаратом «МАГ-30-4»

<i>Наявність біологічної тканини</i>	<i>Час (хв)</i>			
	0	1	5	10
<i>Ні</i>	31,6	32,2	33	34,2
<i>Так</i>	30,1	30,9	31,2	30,4

Значення магнітної індукції 8,8 мТл.. Дані у таблиці — градуси Цельсію в залежності від часу, зафіксовані тепловізором під час експерименту.

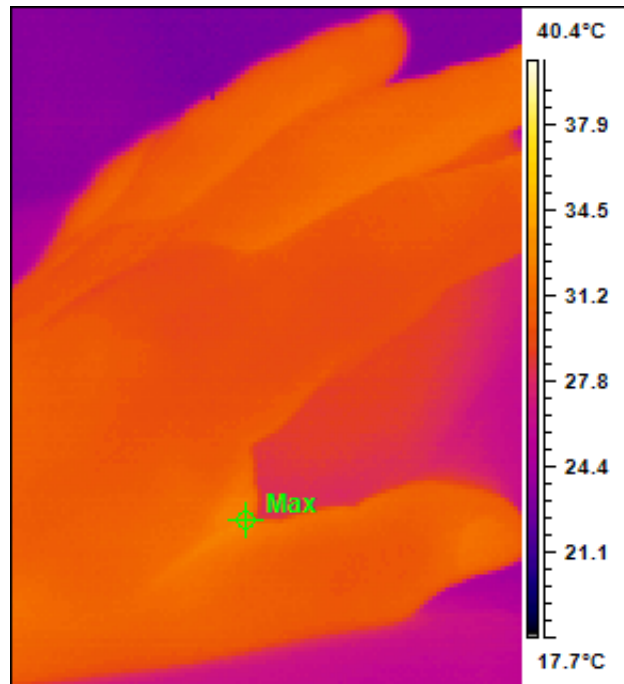


Рис.3.8. Термограма

Результати представлені на рисунку 3.9.

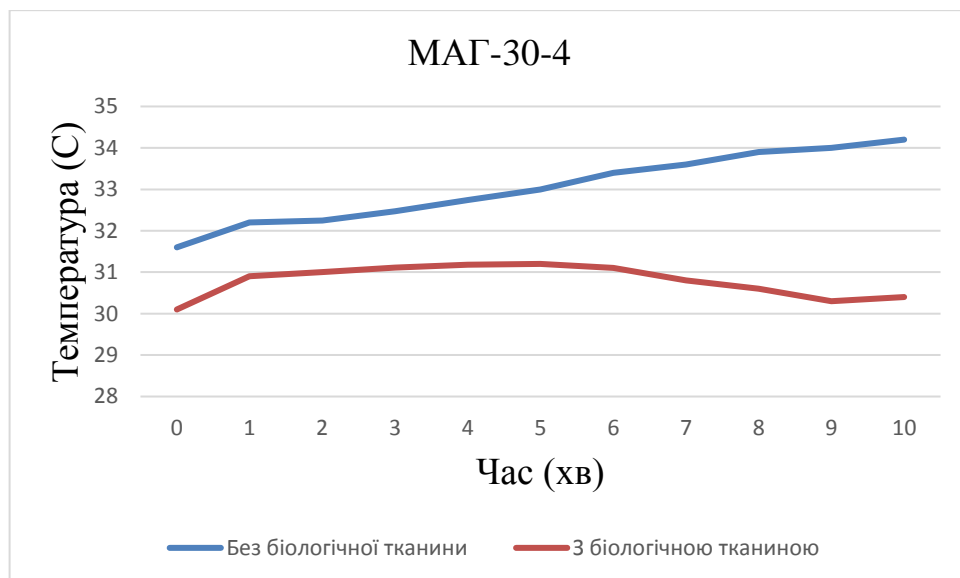


Рис. 3.9. Графічна залежність результатів температурних параметрів від часу під час роботи апарату «МАГ-30-4»

Висновок до рисунку 3.9.: можна помітити як температура індуктора без біологічної тканини постійно зростає, проте звернувши увагу на графік з

біологічною тканиною, можна помітити як з часом температура починає понижатися. Це пояснюється впливом зовнішнього МП та біомагнетизму БТ.

3.4.2. Оцінка змін значень температур біологічної тканини при роботі з МТА «МИТ-11»

Під час другого дослідження використовувався той самий метод фіксування даних, проте їх значно більше, адже:

- апарат «МИТ-11» має правий і лівий індуктор, тож фіксувати потрібно було обидва;
- апарат має 4 режими індукції.

Результати наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Результати дослідження з апаратом «МИТ-11»

<i>Режим індукції</i>	<i>Індукція магнітного поля (Т)</i>	<i>Без біологічної тканини</i>			<i>З біологічною тканиною</i>			<i>Правий (П) чи лівий (Л) індуктори</i>
		<i>Час (хв)</i>			<i>Час (хв)</i>			
		1	2	5	1	2	5	
6	1,4	24,5	24,9	26	23,7	24,4	24,1	П
	1,1	24,2	24,6	25	23,1	24	24,8	Л
12	2,6	26,3	26,9	26,8	25,6	26	26,1	П
	2	25,3	25,6	25,8	24,9	24,8	25,1	Л
15	3	27,3	28,1	29	26,7	27,7	28,6	П
	2,6	26,2	26,8	28,2	25,2	25,9	27,7	Л
18	3,7	27,7	30,8	30,2	26,9	29,3	29,4	П
	3,6	27,3	30,4	29,8	26,4	28,8	28,9	Л

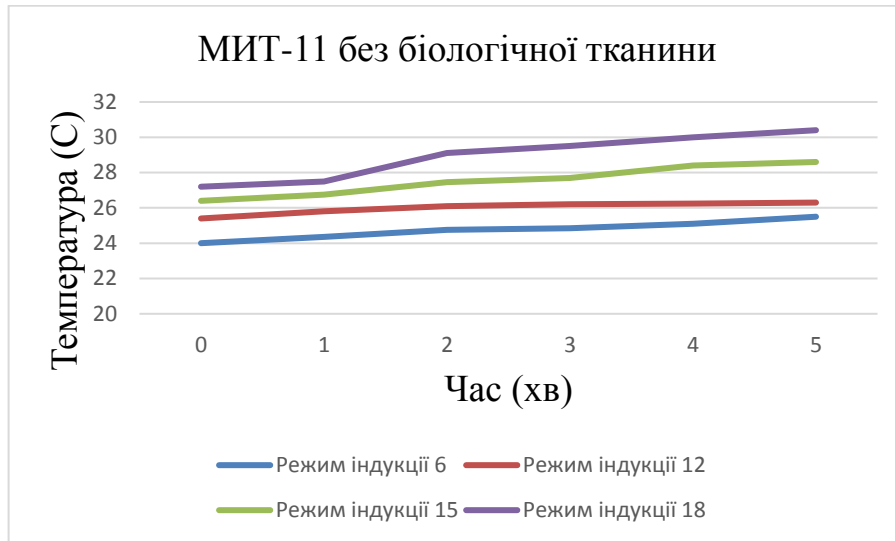


Рис. 3.10. Графічна залежність результатів температурних параметрів від часу під час дослід з апаратом «МИТ-11» без біологічної тканини

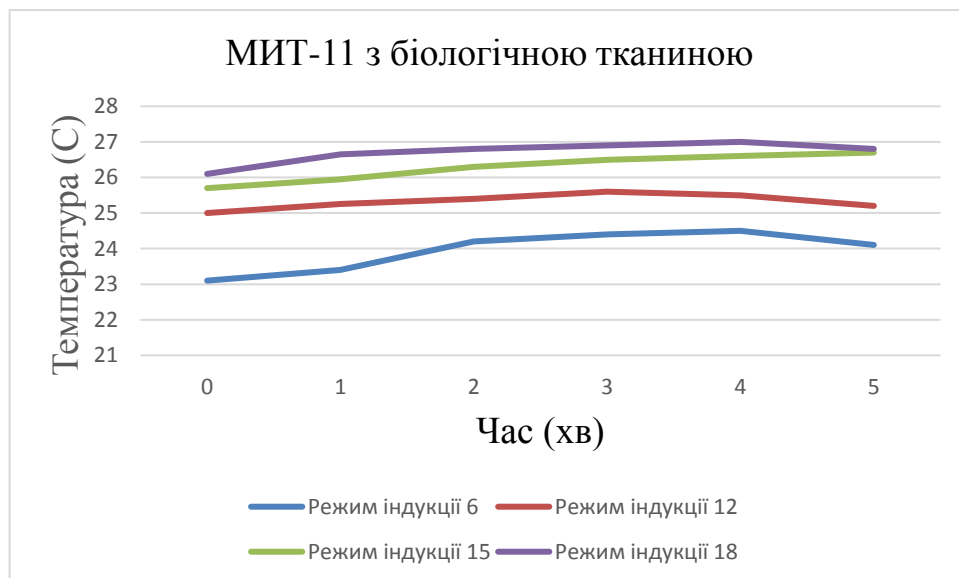


Рис. 3.11 Графічна залежність результатів температурних параметрів від часу під час дослід з апаратом «МИТ-11» з біологічною тканиною

Висновки до рис. 3.10 та 3.11: можна одразу помітити, що чим вищий режим індукції ми встановлювали на апараті, тим вища ставала температура на індукторах.

Використовуючи формулу 3.6, ми визначимо різницю температур БТ під час дії магнітного поля та продемонструємо графічно залежність у рисунку 3.11.

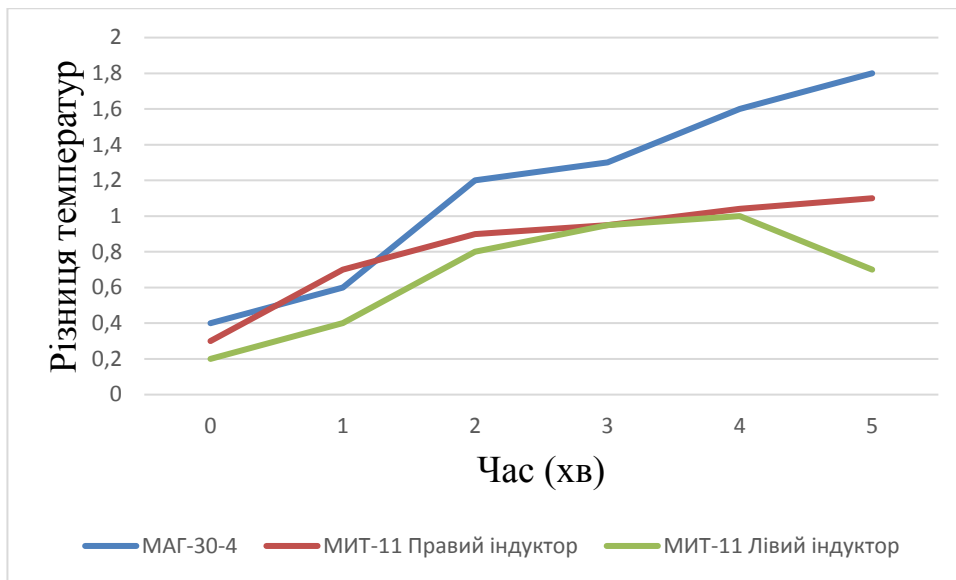


Рис. 3.11. Графік різниці температур БТ при дії МП в часі

Висновок до рис. 3.11: можна помітити, як крива лівого індуктора «МИТ-11» замомлена. Це така непропорційна різниця температур між теоретичними та експериментальними може бути пояснена тим, що навіть у таблиці 3.2 експериментальні температури правого та лівого індуктора помітно відрізняються. Тож можливо проблема у самому індукторі, тому вважаємо, що існує похибка. Також суттєва різниця (графічно) між теоретичними та експериментальними температурами пристрою «МАГ-30-4» — до 1,8 градусів на п'ятій хвилині. Це тільки підтверджує, що кожен прилад індивідуальний і потребує більш точних урахувань[79].

Висновки до розділу 3

Встановлено залежність зміни градієнта температур БТ від дії магнітного поля та часу впливу. Зростання часу дії магнітного поля на біологічну тканину визиває ріст градієнта температур. Це підтверджують різниця між кривими на рис.3.8: температура індуктора без біологічної тканини постійно підвищується, проте з біологічною тканиною починається впливати взаємодія зовнішнього МП та біомагнетизм БТ. Дані дослідження будуть використати для розробки адаптивних апаратів магнітотерапії.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СПОСІБ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОЇ ІМПУЛЬСНОЇ МАГНІТОТЕРАПІЇ»

4.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах вплив магнітотерапевтичних апаратів, в цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії».

Ідея проекту полягає у використанні формули для низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії для детальних розрахунків температурних параметрів біологічних тканин та вдосконаленню апаратів магнітотерапії, що уточнено наведено в таблиці 4.1.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів [81].

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання способу задля детальних розрахунків температурних параметрів біологічних тканин та вдосконаленню апаратів магнітотерапії задля покращення впливу магнітного поля.	Біомедична інженерія	Прискорення розрахунків
	Виробництво приладів	Точність розрахунків
	Біомедична кібернетика	Можливість отримати температурні залежності

Отже, пропонується новий спосіб розрахунку впливу магнітного поля на температурні параметри біологічних тканин у вигляді формули, яка є більш чіткою та дозволяє проводити залежності між впливом, оцінювати показники та використовувати їх задля вдосконалення магнітотерапії у цілому та магнітотерапевтичних апаратів.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів[82]:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	«Новатор»	«Мединтех»	«Праймед»			
1.	Вартість	Мінімум	Нема анонсу	Нема анонсу	Нема анонсу			+
2.	Ергономічність	Зручна інтеграція	Зручна інтеграція	Нема анонсу	Зручна інтеграція		+	
3.	Надійність	Зібранні усі необхідні документи	Зібранні усі необхідні документи	Нема анонсу	Нема анонсу			+
4.	Відкритість	Допомога впровад ж усього процесу у інтеграції проекту у продукт	Немає анонсу	Немає анонсу	Немає анонсу			+
5.	Інноваційність	«Першопрохідці»	Нема анонсу подібних вдосконалень	Нема анонсу подібних вдосконалень	Нема анонсу подібних вдосконалень			+
6.	Комерція	Підвищення продажів	Нема анонсу	Нема анонсу	Нема анонсу			+
7.	Торгова марка	Не створена	Створена	Створена	Створена	+		

Річ у тім, що медичні виробники стараються не повідомляти про вдосконалення раніше можливого. Адже вони потребують дуже багато дослідів та часу на підтвердження можливостей і результатів тих чи інших вдосконалень. Тож дані виробники не аносували жодних подібних вдосконалень, які пропонує наш проект ринку.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії	Статистика	Наявна	Доступна
		Експериментальні дослідження	Наявна	Доступна
		Тестування	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: наявна та доступна на ринку				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект має достатньо умов для перевірки своєї точності, базисних оцінок, на яких формується проблематика та представлено достатньо магнітотерапевтичних апаратів на ринку, щоб протестувати наш проект та використати його для вдосконалення терапії.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє оцінити актуальність нашого проекту.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	80000 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Слабозростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність сертифікату відповідності тех. регламенту
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20%

Цільова аудиторія проекту — виробники медичної техніки та електроніки. Цей ринок специфічний, тому його динаміка є саме слабозростаючою. Усі основні апарати базуються на старих аналогах. І будь-яке їх вдосконалення має мати не тільки медичну підоснову (яка має бути дуже аргументованою), але і не створювати додаткових недоліків методам.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Результативність	Медичні виробники. Інститути.	Вартість проекту.	Недороге тестування

2	Прозорість	Медичні виробники. Інститути. Відділи сертифікації.	Вартість проекту.	Нескладна та недорога інтеграція
3	Інноваційність	Медичні виробники. Інститути.	Вартість проекту.	Відсутність похибок та сприянню впливу на інші способи

У зв'язку зі специфічністю аудиторії, викликати довіру новими рішеннями набагато складніше. Має бути не тільки медичний бекграунд, але і інноваційний, прозорий та надійний у використанні. У сфері вдосконалення має не порушувати основної мети апаратів, не створювати додаткових проблем чи похибок. І на все це також впливає вартість вдосконалення.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

Так як прямий споживач — не пересічний покупець, а інші компанії, узгодження таких процедур займає багато ресурсів. Проте це не є єдиною проблемою.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Попиту	Вдосконалення може виявитися не настільки потрібним.	Перерахунок вартостей для підтвердження ефективності
2.	Економічна	Зростання інфляції	Пошук можливостей для дешевшого тестування
3.	Конкуренція	Закордонні аналоги мають більшу довіру	Збільшення перевірок та гарних відгуків
4.	Збуту	Занадто багато підтверджень у системі необхідно для реалізації	Необхідні документи без можливості відмови
5.	Науково-технічна	Швидкий розвиток науки	Моніторинг наукових новин та пошук нових шляхів вдосконалення проекту

Ризики існують, тож потрібно мати міцний фундамент у вигляді документів, сертифікатів, які підтверджують усі можливі наміри, результати тестувань та виділення основних переваг цього способу та його інтеграції у медичні прилади.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Закордонні конкуренти довше заходять на ринок	Збільшення обсягів інтеграції
2.	Економічна	Зменшення податків на медичну сферу діяльності	Зниження собівартості
3.	Попиту	Інтеграція зможе створювати перевагу у поєднанні кількох систем одночасно за ціною однієї	Викликання довіри
4.	Природні та екологічні чинники	Підвищення ризиків хвороб та потреба у магнітних маніпуляціях	Попит
5.	Збуту	Зменшення кола рішень до однієї компанії	Закріплення за собою лідерства у галузі

Деякі загрози можуть слугувати факторами розвитку нових можливостей для проекту. Це звісно спонукає до використання додаткових ресурсів для вирішення цих проблем.

Конкуренція також була як і фактором загрози, так і можливістю показати свої переваги. Для цього був проведений надалі аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції: олігополія	Невелика кількість фірм на ринку	Підтримка високої якості обслуговування
За рівнем конкурентної боротьби: національний	Багато медичних апаратів замовляється з-за кордону, тож має певну довіру, у порівнянні з нашими	Ведучи конкуренцію на національному рівні, компанії необхідно прикласти належні зусилля

	апаратами	для охоплення всього національного ринку
За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Стосується тільки галузі медичних приладів та систем	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції на даному ринку
Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Між іншими магнітотерапевтичними апаратами	Покращувати рекламу та дизайн
За характером конкурентних переваг: цінова	Споживач звертає увагу на те, чи буде більше продажів, оцінює, скільки коштуватиме інтеграція нашого проекту у його продукт	Пошук підрядників, які б виконувати роботу процеси за нижчу ціну
За інтенсивністю: марочна	Один відомий продукт бренду може принести продажі інших продуктів. Тож з'явиться сенс покращувати актуальні продукти.	Набір усіх необхідних документів та даних для легкої та вдалої інтеграції

Аналіз підтвержує, що навіть при свою специфіку, наш проект потребує значних зусиль для того, щоб увійти у ринок, зафіксуватися та пропонувати свої можливості своїм клієнтам. І це як раз той випадок, коли вартість впливає на прийняття рішення, адже можливість ризику неприйнятна для такої вузької галузі.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари - замітники
Складові аналізу	НМЦ «Мединтех» ДП «Новатор»	Бар'єри входження на ринок — сертифікація і цінова пропозиція	Робоча сила, елементи у системі вдосконалення	Ціноутворення	Неякісні замітники
Висновки	Вдосконалення може викликати їх перевагу перед	Закордонні медичні виробники можуть мати перевагу на	Постачальники не диктують умови на ринку	Клієнти диктують основні умови на ринку	Детальна перевірка заміників

	конкурентами, що надасть їм так звані «права першопрохідців»	ринку, проте вартість буде проблемною для нашого ринку.			иків
--	--	---	--	--	------

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Ціна інтеграція впливає на прийняття рішення. А наша ціна вигідніше, ніж у закордонних аналогів.
2	Актуальність	Вдосконалюються апарати, проте має бути важлива основа, яка підтверджує актуальність. І вона доведена нашим проектом.
3	Попит	Наука розвивається, так само як і медицина. І техніка не може бути несучасною.
4	Збут	Закріплення дій документаль, щоб процеси закріплювалися тільки наших проектом, не залучаючи додаткових посередників.
5.	Інноваційність	Робить українську науку на рівні с іншими країнами.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Медінтех						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	10	+						
2	Велика кількість постачальників	9							+
3	Висока якість	17		+					
4	Технічна підтримка	14		+					
5.	Ціна	10						+	

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилю. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невелика конкуренція; 2. Інноваційність; 3. Вартість. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність довіри; 2. Велика витрата ресурсів до самих продажів.
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення продаж; 2. Отримання державних замовлень на отримання послуг; 3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; 4. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. 2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм.

Це знову підтверджує, що навіть при свою специфіку, наш проект потребує значних зусиль для того, щоб увійти у ринок, зафіксуватися та пропонувати свої можливості своїм клієнтам.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	70%	3 місяці
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	60%	3 місяці
3	Стратегія виходу з ринку	80%	6 місяців

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Так	Середній	Середня	Складна
2	Медичні виробники	Так	Високий	Висока	Складна
3	Інститути	Так, але складніше	Середній	Низька	Складна
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із медичними виробникам.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, яким найбільш необхідний наш спосіб низькочастотної взаємодії. Адже тільки вони можуть інтегрувати його у свої продукти, тим самим вдосконалюючи їх, тестувати, робити висновки та використовувати у комерційній діяльності.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Поширення пуляції	Виокремлення переваг цього способу у грошовому еквіваленті для майбутніх споживачів.	Стратегія підкріплення своїх переваг

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Так	Забирати існуючих	Ні	Стратегія підкріплення своїх переваг

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Цілова підтримка на етапі інтеграції	Відкритість до вирішення питань	Обізнаність свого продукту, допомога в інтеграції. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Конкурентоспроможності	Унікальність	Немає анонсованих вдосконалень

Це основна причина споживачів придбати наш проект — стати унікальними на ринку.

Таблиця 4.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Довго вагаються для прийняття рішень	Медичні виставки	Унікальність	Донести, що завдяки нашому проекту буде прибуток	Унікальність

4.6 Висновки до розділу 4

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що проект «Спосіб низькочастотної імпульсної магнітотерапії» є реальним, проте має багато ризиків. Вдалося прорахувати його можливості на ринку та загрози. Зараз на нашому ринку немає анонсованих аналогів подібного способу, проте можливо, що з подібним функціоналом вийдуть закондонні продукти. Проте це може створити ряд перепон, як технічних, бюрократичних, так і фінансових. Тож завдання інтегрувати спосіб низькочастотної імпульсної магнітотерапії у продукти наших медичних виробників є реальним, але має мати щось більше, ніж просто обіцяючі аргументи. Це мають бути сертифікати, статистичні дані, багато досліджень щодо необхідності цього способу та доведення, що спосіб не суперечитиме існуючим діям апаратів медичних виробників. Адже саме це є основою у вдосконаленні медичних приладів.

Також можна зробити висновок, що значну роль відіграватиме вартість інтеграції. Це те, що у першу чергу впливатиме на рішення медичного виробника, адже кінцева вартість його продукту має бути конкурентоспроможною.

Так як галузь медичних приладів в Україні дуже вузька, наш проект у теорії матиме попит серед наших медичних виробників. Адже закордонні інтеграції можуть бути, по-перше, несумісними з українськими приладами. По-друге, вартість інтеграції буде набагато більшою.

Наступний висновок — так як інші медичні виробники ще не анонсували подібних вдосконалень, у проекту є шанси стати лідером у своїй області. А продукт, який інтегрує його у себе — монополістом.

ВИСНОВОК ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

В даній магістерській дисертації проведено дослідження залежності значень температурних параметрів біологічних тканин від параметрів діючого магнітного поля.

Проведено огляд та порівняльний аналіз сучасних способів та апаратів для відтворення та впливу МП. Розглянуто класифікацію магнітних полів.

Проаналізовано математичне обґрунтування дії магнітного поля на біологічний об'єкт та проведено еспериментальне дослідження на приладах «МАГ 30» та «МИТ 11». Результати практичного експерименту показали, що дійсний динамічний діапазон апаратів «МИТ-11» та «МАГ-30» не відповідає нормованим значенням і обмежений у керуванні динамічними параметрами, тому були запропонувати оптимізація в побудові таких МФТА, що забезпечують високу керованість і точність в отриманні заданих параметрів магнітної індукції в робочій зоні індуктора при прямому контакті індуктора з БТ.

В зв'язку з цим запропоновано новий спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії. Був проведений експеримент, який підтвердив сходимість результатів розрахунку та практичних даних..

За результатами дисертації, оцінка температур в біологічній тканині при дії магнітного поля та новий спосіб магнітотерапії дає можливість вдосконалювати апарати магнітотерапії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляр С.А., Постійні магнітні поля і їх застосування в медицині. / С.А. Гуляр, Ю.П. Лиманський - К .: Ін-т фізіології ім. А.А. Богомольця НАН України, 2006. - 320с.
2. Холодов Ю.А. Вплив магнітного поля на нервову систему. - в зб. Вплив магнітних полів на біологічні об'єкти. - М .: Наука, 1971. - с. 124 - 146.
3. Холодов Ю.А. Медико-біологічні особливості застосування магнітних полів в практичній охороні здоров'я. - Л .: 1989. - 21с.
4. Терещенко М.Ф. Магнітотерапевтичний апарат та міра для його перевірки / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 142 – 148.
5. Тимчик Г.С. Система температурного контролю в магнітотерапії / Г.С. Тимчик, М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. – № 1(87) – С. 111–116.
6. Сердюк В.В. Магнітотерапія: Минуле, сьогодні, майбутнє. Довідковий посібник. - К .: «Азимут - Україна», 2004. - 536с.
7. Соловійова Г.Р. Магнітотерапевтичний апаратура. - М .: Медицина, 1991. - 176с .
8. Терещенко М.Ф. Універсальний апарат для магнітотерапії "АКВІМП-М" / М.Ф. Терещенко, С.М. Терещенко // ІХ Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування 2010: стан і перспективи», 27 – 28 квітня 2010р. м. Київ: Зб. тез доп. – К.: НТУУ "КПІ" ПБФ, 2010. – С. 206 – 207.
9. Холодов Ю.А., Магнітні поля біологічних об'єктів. / Ю.А. Холодов, О.М. Козлов, А.М. Горбач: Наука, 1987.
10. Ремізов А.Н., Медична та біологічна фізика / А.Н. Ремізов, А.Г. Максін, А.Я. Потапенко.: посібник для вузів, 4 вид., — Дрофа, 2003. - 560с.
11. Пресман А.С. Електромагнітне поле і жива природа. М .: Наука, 1968. 288 с.

12. Боголюбов В.М., Загальна фізіотерапія / В.М. Боголюбов, Пономаренко Г.Н. . М. - СП .: Медицина, 1997. - 480 с.
13. Райгородський Ю.М.. Магнітні поля і прилади для оптимальної фізіотерапії. / Ю.М. Райгородський, Ю.В. Серянов // Біомедичні технології та радіоелектроніка. - 2002. - № 1. - 57-67.
14. Демецька А.М., Введення в медичну магнітотерапію. / А.М. Демецька, В.М. Чернов, Л.І. Попова. — Ростов-на-Дону: Видавництво Ростовського університету, 1991. - 96с.
15. Терещенко М.Ф. Безконтактний температурний метод контролю впливу поля при магнітотерапії / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2012. – Вип. 43. – С.147 –153.
16. Корневський Н.А., Проектування електронної медичної апаратури для діагностики та лікувальних впливів / Н.А. Корневський, С.А.Филист: Монографія / Курська міська друкарня. Курськ, 1999. 537с.
17. Лівенсон А.Р. Електоромедична апаратура. - 5-е вид.: Медицина, 1981. - 344с.
18. Вишняков Д.І., Особливості застосування апаратів магнітотерапії в лікувальних цілях. / Д.І. Вишняков, В.Ю. Рудик, Н.В. Стельмах // 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.117.
19. Клячкин Л. М. Фізіотерапія: Підручник. / Л.М. Клячкин, М.Н. Виноградова // 2 вид.: Медицина, 1995. - 240 с.
20. Терещенко М.Ф. Моделювання впливу змінних магнітних полів на параметри біологічних тканин / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 41.– С. 137. – 145.
21. Бойко В.І., Дегтярьова Л.М. Електромагнітні пристрої в медичних приладах. - Дніпродзержинськ. - 2006. - 215с.
22. Лівенсон А.Р. Електоромедична апаратура. - 5-е вид.: Медицина, 1981. - 344с.

23. Андронов А.А., Вітт А.А., Хайкін С. Е. Теорія коливань. 2-е изд. М.: Физматгиз. 1959. 926 с.

24. Рибаків Ю.Л. Протипухлинна ефективність вихрового магнітного поля (ВМП). Частина I. Модельне уявлення магнітної стимуляції окисного метаболізму фагоцитів. // Медична фізика. 2003. №1. С.28-33. Патент 6061 UA МПК А61 N 2/12. Магнітотерапевтичній Пристрій МК - 1 / Карпенко В.І. Заявка № 20040806401. Заявл. 02.08.2004. Опубл. 15.04.2005. Бюл.№ 4, 2005.

25. Корнєва Р.Б., Портативний апарат для низькочастотної магнітотерапії. / Р.Б. Корнєва, О.Ю. Юрина // «Магнітні поля в теорії і практиці медицини». Тези обласної науково-практичної конференції, м Куйбишев. - 1984. - с.10 - 11.

26. Техніка і методики фізіотерапевтичних процедур. Довідник п / ред. В.М. Боголюбова. М.: Медицина, 1983.

27. Апарати нового покоління для локальної магнітотерапії і локального теплолікування. Метод. посібник - Рязань, РГМУ, 2004р. - 37с.

29. Breeden J.L., Hubler A. Reconstructing equations of motion from experimental data with unobserved variables. Phys. Rev. A 42, 5817 (1992).

30. Кабиш В.Н., Кадирка А.П., Макаров В.В., та ін. Принципи побудови базової моделі апарата «Полімаг». - Медична техніка. - 2007, №7. - с. 37 - 40.

31. Сиркін А.Б., Добринін Я.В., Летягін В.П., Рибаків Ю.Л. Магнітотерапевтична установка "Магнітотурботрон-2". Керівництво для медичних фахівців. М. 1998. 36 с.

32. А.с. 1213445 СРСР МПК G01 R 33/00. Пристрій дискретного відтворення змінюється магнітного поля / Брайко В.В., Терещенко Н.Ф. Заявка № 3779020 / 18-21. Заявл. 13.08.1984. Опубл. 23.02.1986. Бюл.№7, 1986.30.10.1984. Бюл.№40, 1984.

33. А.с. 1213445 СРСР МПК G01 R 33/00. Пристрій дискретного відтворення змінюється магнітного поля / Брайко В.В., Терещенко Н.Ф. Заявка № 3779020 / 18-21. Заявл. 13.08.1984. Опубл. 23.02.1986. Бюл.№7, 1986.30.10.1984. Бюл.№40, 1984.

34. Шустер Г. Детермінований хаос. М .: Мир. 1988. 240 с.
35. Самосюк І.З., Лисенюк В.П., Лиманський Ю.П., Повжітков А.Н., Бойчук Р.Р., Антонченко В.Я. Нетрадиційні методи діагностики та терапії. Київ .: Здоров'я. 1994. 235 с.
36. Холодов Ю.А. Мозок в електромагнітних полях. М .: Наука, 1982. 123 с.
37. Рибаків Ю.Л. Принципи формування сигналу слабкого низькочастотного вихрового магнітного поля (ВМП) для загального впливу на організм людини. // Медична фізика. 2004. №2
38. Коротков К.Г. Ефект Кірліан. СПб .: Ольга, 1995. 215 с.
39. Рудик В.Ю. Біокерована система магнітофототерапії на основі оцінки фізіологічних показників людини / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, М.Ф. // Наукові вісті НТУУ «КПІ» - 2014 . - № 1. -С. 85-92
40. Урицький В.М., Музалевська Н.І. Фрактальні структури і процеси в біології. // Біомедична інформатика. СПб .: 1995. С.84-253.
42. Рубін А.Б. Термодинаміка біологічних процесів. М .: Изд-во МГУ. 1984. 283 с.
43. А.с. 1228057 СРСР МПК G01 R 33/00. Спосіб створення зразкового поля і пристрій для його здійснення / Гончаренко Ю.М., Рижов Е.В., Терещенко Н.Ф. Заявка № 3606090 / 24-21. Заявл. 15.06.1983. Опубл.30.04.1986. Бюл.№16, 1986.
44. Патент 15235 UA МПК А61 N 2/00. Електронний Пристрій для магнітотерапії / Сінекоп Ю.С., Зубчук В.І., Варченко В.Г. та ін. Заявка № 94020353. Заявл.17.02.1993. Опубл. 30.06.1997. Бюл.№3, 1997..
45. Табеева Д.М. Керівництво по голкорексфлексотерапії. М .: Медицина, 1980. 560 с.
46. Патент 17912 UA МПК А61 N 2/00 Апарат для магнітотерапії / Варченко В.Г., Зубчук В.І., Сінекоп Ю.С. Заявка № 96124613. Заявл. 03.06.1997. Опубл. 31.10.1997. Бюл.№5, 1997..

47. Рудик В.Ю. Розподіл магнітної індукції на індукторах апарату фізіотерапії «Мит-11»/ Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф., Рудик Т.О.//Перспективні технології та прилади . Міжвузівський збірник . Випуск №12 м. Луцьк червень 2018р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018.-196 с. С. 138-142
48. Патент 4119 UA МПК А61 N 2/04. Пристрій для магнітотерапії / Сердюк В.В.Заявка № 4612244/14. Заявл. 30.11.1988. Опубл. 27.12.1994. Бюл.№6-1, 1994.
49. Mandel P. Energy Emission Analysis; New Application of Kirlian Photography for Holistic Medicine. Synthesis Publishing Co., 1986.
51. Аніщенко В.С. Динамічні системи. // Соровский Освітній Журнал. 1997. №11. С.77-84.
52. Аніщенко В.С. Складні коливання в простих системах. М .: Наука, 1990.
53. Фейгін М.І. Поява ефектів бифуркаційної пам'яті в поведінці динамічної системи. // Соровский Освітній Журнал. 2001. Т.7. №3. С.121-127.
54. Рибаків Ю.Л. Принципи формування сигналу слабого низькочастотного вихрового магнітного поля (ВМП) для загального впливу на організм людини. // Медична фізика. 2004. №2
55. Гаркаві Л.Х., Квакіна Є.Б. Місце адаптаційних реакцій в біологічному і лікувальну дію магнітних полів (до теорії впливу магнітних полів на організм). // магнітологом. 1991. №2. С.3-11.
56. Патент 20520 UA МПК А61 N 2/00. Пристрій для магнітної Дії на біологічний об'єкт / Гринчишин В.В. Заявка № u200609857. Заявл. 14.09.2006. Опубл. 15.01.2007. Бюл.№1, 2007.
57. А.с. 5369 UA МПК А61 N 2/02. Магнітотерапевтичний апарат «ВІТМА» / Лемперт В.І., Путілолов Ю.Г. Заявка № 20040402750. Заявл. 15.04.2004. Опубл. 15.03.2005. Бюл.№3, 2005.
58. Патент 5024233/14 RU МПК А61 N 2/00, 2/02, А61 F 900. Пристрій для магнітотерапії / Мачехін В.А., Шелудченко В.М., Колесніков В.П. Заявка № 5024233/14. Заявл. 27.01.1992. Опубл. 20.06.1996. Бюл.№17, 1996..

59. Лоскутов А.Ю. Нелінійна динаміка, теорія динамічного хаосу і синергетика (перспективи і додатки). // Компьютерра. №47. 1998.
60. Бінго В.Н. Магнітобіологія. Експерименти і моделі. М.: 2002. 592 с.
61. Самосюк І.З., Лисенюк В.П., Лиманський Ю.П. і співавт. Нетрадиційні методи діагностики та терапії. Київ.: Здоров'я. 1994.
62. 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.
63. Терещенко М.Ф. Моделювання впливу змінних магнітних полів на параметри біологічних тканин / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 41.– С. 137. – 145.
64. Терещенко М.Ф. Методи та принципи побудови фізіотерапевтичної апаратури імпульсних магнітних полів / М.Ф. Терещенко, В.В. Гриценко// Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2009. – Вип. 38.– С. 127. – 135.
65. R.P.Liburdy. Calcium signaling in lymphocytes and ELF. // FEBS Lett. 1992. V.301. P.53-59.
66. H.Berg. Possibilities and problems of low frequency weak electromagnetic fields in cell biology. // Bioelectroch. Bioener. 1995. V.38. P.153-159.
67. Охтирський В.І., Дубовий Л.В. Лікувальна методика, яка використовує модельний синтез природного геомагнітного поля. // Вісник СЗ АМТН. 1996. №1. С.42-45.
68. 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.
69. Шабанова А.Н. Медичний довідник, - М: Медицина, 1988

70. Терещенко Н.Ф. Способи підвищення точності відтворення форми імпульсного магнітного поля // Електромагнітні і теплові процеси в електромеханічних перетворювачах і технологічних установках. Зб. науч. тр.- Київ: ІЕД АН УРСР. 1988.- с. 59-70.

71. Терещенко М.Ф. Принципи побудови універсальних магнітофізіотерапевтичних апаратів / М.Ф. Терещенко, М. В. Пищик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. –2008. – Вип. 36. – С.118 – 126.

72. <http://www.medic-clinic.ru>

73. <http://www.xai-medica>

74. Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / Терещенко М.Ф. Тимчик Г. С., Чухраєв М.В. Кравченко АЮ. - Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. -184 с.

75. Терещенко М.Ф., Методи та пристрої створення магнітного поля магнітофізіотерапевтичних апаратів / М.Ф. Терещенко, Пищик М.В., Терещенко М.М. / Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. — Кременчук, 2008., випуск 6/2008(53). — част.1., с. 41-44.

76. Терещенко М.Ф., Кос О.С. Особливості та структура автоматизованого магнітотерапевтичного апарату // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2014.- Вип.48(2).- С.188-193

77. Терещенко М.Ф. Безконтактний температурний метод контролю впливу поля при магнітотерапії / М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2012. – Вип. 43. – С.147 –153.

78. Рудик В.Ю. Біокерована система магнітофототерапії на основі оцінки фізіологічних показників людини / В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, М.Ф. // Наукові вісті НТУУ «КПІ» - 2014 . - № 1. -С. 85-92

79. Нагаєва Б.Е. Влив 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.

80. Заявка на Патент України № u 2018 10306 Спосіб низькоінтенсивної імпульсної магнітотерапії / Терещенко М.Ф., Нагаєва Б.Е., Яковенко І.О.

81. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: [Текст]: навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с.

82. Розроблення стартап-проекту [Електроний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. — Київ : НТУУ «КПІ», 2016. — 28.