

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 61

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
С.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

«18» 12 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки
(код і назва спеціальності)

на тему: Радіометричний метод визначення сумі-
сності біоматеріалів та біотканин.

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи PI-81 мп
(шифр групи)

Войцехівська Вероніка Іванівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доц. к.т.н. Терезуков С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доц. к.т.н. Швистук В.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Київ – 2019 року

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

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіoeлектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С. А. Нелін
(підпис)

С. А. Нелін
(ініціали, прізвище)

02 вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Войцехівський Вероніці Іванівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Радіометричний метод визначення
сумісності біоматеріалів та біотканин.

науковий керівник дисертації Герегулов Сергій Михайлович, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3881

2. Строк подання студентом дисертації 18 грудня 2019 року

3. Об'єкт дослідження Власне електромагнітне випро-
мінювання мм-діапазону біоматеріалів та
біотканин.

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) характеристики електромагнітного випромінювання вказаних об'єктів в реальних умовах.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналітичний огляд застосування методів оцінки біосумісності. 2. розробити математичну модель поширення електромагнітних хвиль. 3. провести експериментальну перевірку запропонованого методу.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій Тези доповіді Радиometricкий метод вимірювання рівня випромінювання біосумісності біосенсорів у міжнародній науково-технічній конференції "RTTAS'19" (2019), м. Київ.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Вибір дисертації та аналітичний огляд	12.2018-04.2019	Виконано
2.	Розробка ТЗ та вибір моделі	06.2019-09.2019	Виконано
3.	Розробка методу оцінки рівня в.випр-з	10.2019	Виконано
4.	Експериментальне дослідження	11.2019	Виконано
5.	Оформлення магістерської дисертації	12.2019	Виконано
6.	Підготовка до захисту	12.2019	Виконано

Студент


(підпис)

В.І. Войцехівська
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

С.М. Геремко
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 108 с., 20 рис., 32 табл., 2 додатки, 24 джерела

Актуальність теми зумовлена поширенням застосування радіометричних методів в багатьох галузях промисловості, та в медицині.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методу оцінки електромагнітної сумісності біотканин та біоматеріалів, із застосуванням мікрохвильової радіометрії.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються такі завдання: проведення аналітичного огляду застосування методів оцінки біосумісності матеріалів та біотканин за допомогою існуючих критеріїв та оцінити важливість врахування їх електромагнітних властивостей; розроблення математичної моделі поширення електромагнітних хвиль в біоматеріалі та біотканині для оцінки рівнів інтенсивностей випромінювання, яке здійснює вплив за умовами, близькими до реальних; проведення експериментальної перевірки запропонованого радіометричного методу.

Об'єктом дослідження є власне електромагнітне випромінювання мм-діапазону біоматеріалів та біотканин.

Предметом дослідження є характеристики теплового електромагнітного випромінювання вказаних об'єктів в реальних умовах.

Методами дослідження є методи математичного аналізу – для розроблення моделі, та обробки результатів вимірювань; експериментальні методи досліджень із використанням радіометричної апаратури – для визначення характеристик електромагнітного випромінювання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в даній роботі: розроблено математичну модель, яка в порівнянні з відомими, є більш простою і дозволяє порівнювати рівень власного випромінювання біоматеріалів та біотканин; запропоновано радіометричний метод сумісності біоматеріалів та біотканин.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонований метод, може доповнювати вже існуючі методи дослідження біосумісності біотканин та матеріалів. Такі засоби, мають важливе використання в медицині.

Ключові слова: радіометричний метод, міліметровий діапазон, коефіцієнт відбиття, випромінювальна здатність.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

ABSTRACT

Master's Thesis: 108 pp., 20 Fig., 32 tables, 2 supplements, 24 sources

The relevance of the topic is due to the widespread use of radiometric methods in many industries, and in medicine.

The purpose and objectives of the study. The aim of this work is to develop a method for evaluating the electromagnetic compatibility of biotissues and biomaterials, using microwave radiometry.

To achieve this goal, the following tasks are solved: conducting an analytical review of the application of methods for assessing the biocompatibility of materials and biotissues using existing criteria and assessing the importance of taking into account their electromagnetic properties; development of a mathematical model for the propagation of electromagnetic waves in biomaterials and biotissues to estimate the levels of radiation intensities, which exerts influence under conditions close to real ones; conducting experimental verification of the proposed radiometric method.

The object is the electromagnetic radiation of mm-range of biomaterials and bio-tissues.

The subject is the characteristics of thermal electromagnetic radiation of these objects in real conditions.

Methods of research are methods of mathematical analysis - to develop a model and process the results of measurements; experimental methods of research using radiometric equipment - to determine the characteristics of electromagnetic radiation.

The scientific novelty of the obtained results is that in this work: a mathematical model is developed, which is simpler in comparison with the known ones and allows to compare the level of own radiation of biomaterials and biotissues; the radiometric method of compatibility of biomaterials and biotissues is proposed.

The practical significance of the results obtained. The proposed method can complement the already existing methods of biocompatibility and biocompatibility research. Such agents have important uses in medicine.

Keywords: radiometric method, millimeter range, reflectance, radiance.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	8
ВСТУП.....	9
1 Застосування радіометричних методів та засобів досліджень	13
1.1 Загальна характеристика методів та засобів мікрохвильової радіометрії.....	14
1.2 Аналіз радіометричних методів дослідження біологічних об'єктів	20
1.2.1 Фізичні основи випромінювання біооб'єктів	20
1.2.2 Реакція живих організмів на зовнішнє мікрохвильове ЕМВ	22
1.3 Особливості застосування мікрохвильової радіометрії в медицині	25
1.3.1 Радіометричні засоби у лікувальних технологіях	26
1.3.2 Радіометричні методи в медичній діагностиці.....	29
1.4 Засоби визначення біосумісності матеріалів та біотканин	33
1.4.1 Біосумісність матеріалів медичного призначення	33
1.4.2 Сумісність матеріалів в біосенсорах	38
2 Обґрунтування радіометричного методу для визначення електромагнітної сумісності	42
2.1 Математична модель поширення електромагнітного випромінювання у біотканині та біоматеріалі	42
2.2 Дослідження глибини проникнення випромінювання	50
2.3 Оцінка чутливості радіометричного методу.....	52
3 Експериментальне дослідження.....	56
3.1 Визначення електромагнітних параметрів біоматеріалів та біотканин для малих рівнів потужності.....	57
3.2 Вимірювання коефіцієнта відбиття експериментальних зразків	63

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	68
4.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи.....	68
4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	69
4.2.1 Електробезпека.	69
4.2.2 Мікроклімат робочої зони	71
4.2.3 Виробниче освітлення.....	72
4.2.4 Виробничий шум	74
4.2.5 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ	75
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	76
4.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС	76
4.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації	79
4.3.3 Пожежна безпека	80
4.3.4 Основні вимоги щодо плану евакуації при пожежі	81
5 Розробка стартап-проекту.....	84
1.1 Опис ідеї проекту.....	84
1.2 Технологічний аудит ідеї проекту	85
1.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	86
5.1 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	91
5.2 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	92
ВИСНОВКИ	96
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	98

ДОДАТОК А Технічне завдання	101
ДОДАТОК Б Перелік публікацій за темою магістерської дисертації	106

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

РС – радіометрична система

ЕМВ – електромагнітне випромінювання

НВЧ – надвисокі частоти

НЗВЧ – надзвичайно високі частоти

СЦПШ – спектральна щільність потужності шуму

БО – біооб'єкт

КСХН – коефіцієнт стоячої хвилі за напругою

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

КЗ – коротке замикання

НС – надзвичайна ситуація

СО – система оповіщення

ВСТУП

На сучасному етапі у багатьох галузях науки, техніки та медицини все більше уваги надається застосуванню новітніх методів досліджень та вдосконаленню технологічних процесів. Останніми роками спостерігається стрімкий розвиток мікросистемної техніки та впровадження пристроїв такого класу в інтелектуальні технології, матеріали та системи, які все більш використовуються у різних напрямках людської діяльності, зокрема, біосенсорів, у медицині та біології. Важливою вимогою є необхідність забезпечення біосумісності матеріалів технічних елементів з тканинами живих організмів. Встановлена низка критеріїв для її забезпечення, яка враховує склад матеріалу, пружність, мікро- та нанопористість, рельєф поверхні, параметри корозії [1, 2]. Проте у них не враховуються електромагнітні властивості ані біотканин ані біоматеріалів, що особливо важливо для міліметрового діапазону довжин хвиль, випромінювання здатне суттєво впливати на перебіг біопроцесів в живих організмах [3-5] навіть якщо його інтенсивність вкрай мала ($10^{-10} - 10^{-13}$ Вт/см²), що вже стає порівняним з інтенсивністю власного випромінювання фізичних та біологічних об'єктів. Одним з таких способів може бути метод, який використовує радіометричну апаратуру для вимірювання рівню інтенсивності електромагнітного випромінювання, що супроводжує теплові явища. Радіометричні методи є дуже зручними в процесі діагностики стану об'єктів та матеріалів. Технічні засоби, які у них використовуються, здатні вимірювати навіть такі слабкі сигнали, інтенсивність яких складає $10^{-22} \cdot 10^{-19}$ Вт/Гц·см². Реєстрація власного випромінювання біооб'єктів є досить складним процесом. У більшості випадків приймальні радіометрична система (РС) може вимірювати потужність не тільки шумових, а й слабких гармонійних сигналів.

У зв'язку з тим, що значна частина хімічних реакцій, покладених в основу багатьох виробничих технологій є екзотермічними (з виділенням теплової енергії), радіометричний метод може бути використаний як безконтактний метод контролю, що дозволяє оцінювати хід технологічних процесів та стану об'єктів

спостереження. Таким чином, актуальність теми обумовлена поширенням безконтактних методів контролю екзотермічних процесів, які використовуються у багатьох галузях промисловості, техніки та медицині.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана з планами наукових досліджень, що проводяться на кафедрі радіоконструювання та виробництва радіоапаратури НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка методу для оцінки електромагнітної сумісності біотканин та біоматеріалів.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються такі завдання:

- провести аналітичний огляд застосування методів оцінки біосумісності матеріалів та біотканин за допомогою існуючих критеріїв та оцінити важливість врахування їх електромагнітних властивостей;
- вважаючи на низький рівень власного випромінювання фізичних та біологічних об'єктів в мм-діапазоні, хвилі якого здатні суттєво впливати на живі організми, розглянути можливості застосування відомих радіометричних методів та засобів для оцінки зазначених електромагнітних властивостей даних об'єктів;
- розробити математичну модель поширення електромагнітних хвиль в біоматеріалі і біотканині для оцінки рівнів інтенсивностей випромінювання, яке здійснює вплив за умовами, близькими до реальних;
- провести експериментальну перевірку запропонованого радіометричного методу визначення сумісності біоматеріалів та біотканин;
- за результатами даних експерименту та чисельних розрахунків з використанням розробленої моделі оцінити можливість застосування

методу для оцінки електромагнітної сумісності біоматеріалів та біотканин.

Об'єктом дослідження є власне електромагнітне випромінювання мм-діапазону біоматеріалів та біотканин.

Предметом дослідження є характеристики теплового електромагнітного випромінювання вказаних об'єктів в реальних умовах.

Методами дослідження є методи математичного аналізу – для розроблення моделі та для обробки результатів вимірювань; експериментальні методи досліджень з використанням радіометричної апаратури – для визначення характеристик електромагнітного випромінювання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що в даній роботі:

- розроблено математичну модель, яка у порівнянні з відомими, є більш простою і дозволяє порівнювати рівень власного випромінювання біоматеріалів і біотканин;
- запропоновано радіометричний метод оцінки сумісності біоматеріалів та біотканин.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонований метод, може доповнювати вже існуючі методи дослідження біосумісності біотканин та матеріалів. Такі засоби, мають важливе використання в медицині.

Особистий внесок магістранта. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, що опубліковані у співавторстві магістранту належить: аналіз сучасного стану радіометричних методів та засобів, запропонована математична модель, експериментальна перевірка радіометричного методу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи представлені у доповіді на міжнародній науково-технічній конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» (2019 р.), м.Київ.

Публікації та конференції. За матеріалами дисертації опубліковано тези доповіді «Радіометричний метод вимірювання рівня випромінювальної здатності біосенсорів» у збірнику матеріалів міжнародної науково-технічної конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» (2019 р.), м.Київ.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

1 ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сучасному етапі у багатьох галузях науки, техніки та медицини все більше уваги надається застосуванню новітніх методів досліджень та вдосконаленню технологічних процесів. Останніми роками спостерігається стрімкий розвиток мікросистемної техніки та впровадження пристроїв такого класу в інтелектуальні технології, матеріали та системи, які все більш використовуються у різних напрямках людської діяльності, зокрема у медицині та біології. Прикладом можуть служити біосенсори мікро- та наносистем, імплантанти, ендопротези та мікророботи для медицини [1].

Конструктивні елементи таких об'єктів, як правило, виготовлюються з матеріалів, що мають забезпечувати їх довготривале функціонування поруч з біотканинами або мікроорганізмами, не порушуючи природного протікання біофізичних та біохімічних процесів. Це забезпечується виконанням певних вимог до хімічного складу матеріалу та його фізичних властивостей, так званих критеріїв біосумісності (див., наприклад, [1, 2]). Їх перелік постійно розширюються та уточнюється. Проте слід зазначити, що при цьому не враховуються електромагнітні властивості біоматеріалів та біотканин живих організмів. У той же час за хімічним складом біоматеріалами являються полімери, кераміка, біокомпозити (комбінація матеріалів природного та штучного походження), тобто або високомолекулярна сполука, або речовина зі складною внутрішньою структурою. Тому слід очікувати безпосередній вплив електромагнітного випромінювання різної інтенсивності, у тому числі власного випромінювання біотканини та штучного матеріалу на характер процесів, що відбуваються на межі їх контакту. Для оцінки показників електромагнітних властивостей матеріалів потрібна високочутлива приймальна апаратура та відповідні методи [3].

1.1 Загальна характеристика методів та засобів мікрохвильової радіометрії

Радіометричні методи є дуже зручними в процесі діагностики стану об'єктів та матеріалів. Технічні засоби, які у них використовуються, здатні вимірювати навіть такі слабкі сигнали, інтенсивність яких складає $10^{-22} \cdot 10^{-19}$ Вт/Гц·см². Такі методи уже широко застосовуються для вимірювання слабких сигналів у метрології, радіоастрономії, радіонавігації, військовій справі, приладах зв'язку, медицині та інших напрямках науки і техніки. Суттєвою їх перевагою є дистанційний спосіб дослідження електромагнітних та інших властивостей об'єктів. Вони можуть бути пасивними (здійснюється лише прийом електромагнітних сигналів) та активними, коли реалізується електромагнітне опромінювання досліджуваного об'єкта та прийом відбитого від нього сигналу. У першому випадку, фізичну інформацію про досліджуваний об'єкт містить інтенсивність його власного випромінювання, у другому — параметри відбитого сигналу. Отримана подібним чином інформація дозволяє визначити певні властивості об'єкту спостереження, визначити дальність до нього, а також реалізувати інші методи обробки сигналу, після якої підвищується роздільна здатність всієї системи [1]. До пасивних методів належать: радіотеплолокація Землі та планет, а також радіоастрономія, до активних — радіолокаційна зйомка в режимах з реальною і синтезованою апертурою, доплерівська радіолокація [2].

Під час проведення радіометричних досліджень важливою перевагою є застосування штучних активних джерел електромагнітних сигналів певної частоти, яке передбачає їх використання в міру необхідності проведення експерименту. Проте, у деяких випадках, (наприклад, бортові умови експлуатації) для належного функціонування активних систем потрібні значні джерела енергії та додаткові технічні засоби генерування електромагнітного випромінювання (ЕМВ), що відповідають таким умовам та відбивним властивостям об'єкту.

Пасивні методи ґрунтуються на прийомі власного випромінювання об'єктів, яке має шумоподібний склад спектру і спричинено тепловим (внутрішнім) рухом заряджених частинок у середини речовини та спонтанними квантовими переходами її молекул, атомів тощо.

Прилади, які здійснюють прийом і обробку випромінювання подібного, називаються радіометрами (відповідного діапазону довжин хвиль). Їх робочий діапазон частот може відноситись до надвисоких частот (НВЧ): 0,3–30 ГГц або надзвичайно високих частотах (НЗВЧ): 30–300 ГГц. Радіометри забезпечують вимірювання низькоінтенсивних сигналів (від 10^{-12} до 10^{-6} Вт/см²).

Складові випромінювання біооб'єктів, у тому числі й людини, можна поділити на теплове (рівноважне) та нетеплове (нерівноважне) [3]. Теплове випромінювання спричинено коливальним та обертальним рухом атомів або молекул біотканин. Енергетичною основою нетеплового випромінювання можуть бути метаболічні процеси, перебіг яких суттєво залежать від температури.

З параметрів власного випромінювання біооб'єкту, зокрема, людини можна отримувати основу інформації про фізіологічні, а також психофізичні процеси [3]. Наприклад, теплове випромінювання в інфрачервоному діапазоні дозволяє визначити температуру окремих ділянок шкіри, яка залежить від показників капілярного кровообігу, а також характеризує стан внутрішніх органів, які рефлекторно пов'язані з ними через певні ділянки шкіри (зони Захар'їна-Геда [3]). Теплове випромінювання у радіодіапазоні набагато слабкіше у порівнянні з інфрачервоним, проте воно дозволяє отримувати інформацію про динаміку біопроцесів у внутрішніх органах. При цьому найбільшу інформацію надає ЕМВ, яке реєструється у міліметровому (мм–) діапазоні НЗВЧ.

Вимірювання випромінювання фізичних та біологічних об'єктів

Реєстрація власного випромінювання біооб'єктів є досить складним процесом. У більшості випадків приймальні радіометрична система (РС) може

вимірювати потужність не тільки шумових, а й слабких гармонійних сигналів. Проте задача вимірювання ускладнюється випадковим характером зміни їх та широким спектром частот. Забезпечення метрологічних характеристик РС, що вимірюють рівні інтенсивності слабких та дуже слабких вхідних сигналів можливо за рахунок використання спеціальних структурних схем їх побудови та застосування одного з методів перетворення вхідних сигналів: компенсаційного, кореляційного або модуляційного [3].

Компенсаційний радіометр [3] реалізується за досить простою схемою (рис. 1.1), яка передбачає у його складі антену, послідовно з'єднану з підсилювачем високої частоти, квадратичний детектор, підсилювач постійного струму, фільтр нижніх частот, пристрій порівняння, джерело компенсації постійної напруги та індикатор вихідної напруги. Причому через необхідність великого коефіцієнта підсилення при вимірюванні потужності сигналів низької інтенсивності (10^{-15} - 10^{-12} Вт) спостерігається суттєво зростання флуктуації значення коефіцієнта передачі радіометричного каналу, яке спричиняє зростання флуктуацій постійної складової на виході детектора та неможливості її компенсації, а отже — зростання порога чутливості.

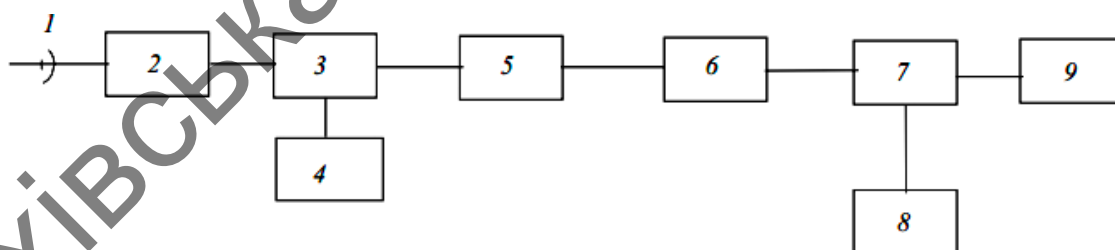


Рисунок 1.1 — Спрощена функціональна схема компенсаційного радіометра: 1 — антена; 2 — підсилювач високої частоти; 3 — змішувач; 4 — гетеродин; 5 — підсилювач проміжної частоти; 6 — інтегратор; 7 — віднімаючий пристрій; 8 — реєстратор.

Метрологічною характеристикою, обумовленою даним процесом є флуктуаційний поріг чутливості, який визначається як мінімальне значення вхідного сигналу, що має бути виявлене або виміряне. Воно визначається як

співвідношення сигналу і власних шумів на виході радіометра дорівнює одиниці [3]. Значний вплив на дану характеристику здійснює флікер-шум на виході детектора, інтенсивність якого зростає в області дуже низьких частот [4], який спостерігається практично у всіх електронних пристроях. Джерелами його є неоднорідності провідного середовища внаслідок різної швидкості генерації та рекомбінації носіїв заряду.

До переваг радіометрів компенсаційного типу слід віднести просту структуру конструкції та високий коефіцієнт перетворення радіометричного тракту, що дозволяє реалізувати чутливість вище ніж у РС інших типів [4].

Кореляційний радіометр (рис. 1.2) складається з однієї або двох антен (залежно від виду реалізованої кореляційної функції та кількості сигналів на вході), двох розв'язаних між собою ідентичних ВЧ каналів, перемножувального пристрою, фільтра нижніх частот (ФНЧ) та індикатора [3]. У такому радіометрі сигнали у каналах є взаємозалежними, що описується коефіцієнтами автокореляції, а постійна складова напруги на виході ФНЧ характеризує величину цього зв'язку. Однак недоліком кореляційних радіометрів є підвищення його порогу, через проникнення з каналу в канал власних шумів і утворення додаткової постійної складової. Іншим недоліком РС даного типу є складність забезпечення ідентичності фазочастотних характеристик каналів [3].

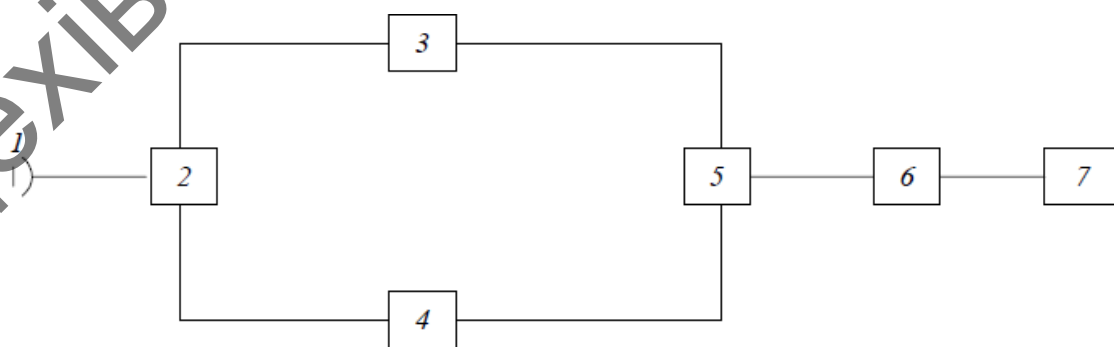


Рисунок 1.2 — Спрощена структурна схема кореляційного радіометра: 1 — антена; 2 — розгалужувач; 3,4 — високочастотні складові першого та другого каналів; 5 — помножувач; 6 — інтегратор;

7 — регістратор.

Компенсувати частину власних шумів радіометра можна, використовуючи те, що сигнал антени і власні шуми приймача некорельовані. Тому необхідно мати два однакових ВЧ тракта, включених таким чином, щоб постійні складові струмів, пропорційні корисному сигналу, склалися, а складові струмів, що виникають за рахунок власних шумів — віднімалися. Вихідний пристрій (корелятор) фактично визначає ступінь когерентності вихідних сигналів каналів [4].

Значним недоліком кореляційний РС є вплив неідентичності фазочастотних характеристик каналів на відношення сигнал/шум. Флуктуації фазочастотних характеристик спричиняють додаткові флуктуації на виході приймача, аналогічні тим, що обумовлені нестабільністю коефіцієнта підсилення [4].

Модуляційний радіометр (рис. 1.3) будується за схемою підключення перед підсилювачем високої частоти спеціального модулятора, який забезпечує почергове підключення входу антени та узгодженого навантаження.

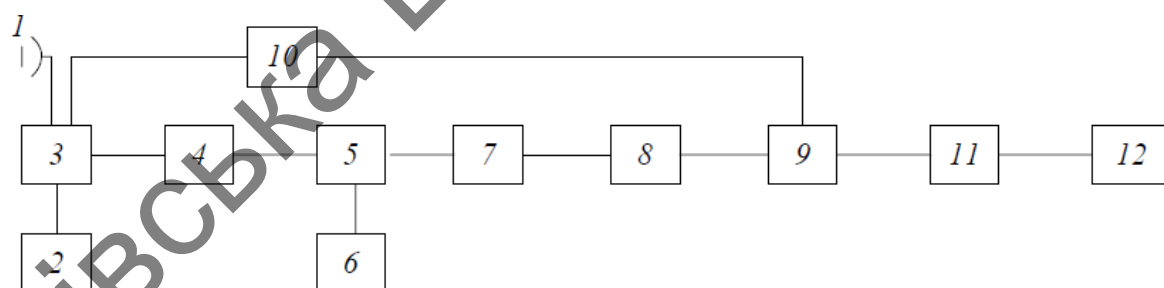


Рисунок 1.3 — Спрощена функціональна схема модуляційного радіометра: 1 — антена; 2 — узгоджене навантаження; 3 — модулятор; 4 — підсилювач високої частоти; 5 — змішувач сигналів; 6 — гетеродин; 7 — підсилювач проміжної частоти; 8 — квадратичний детектор; 9 — синхронний детектор; 10 — синхронізатор; 11 — інтегратор; 12 — індикатор.

В результаті перемикань вхідний сигнал модулюється з низькою частотою. Глибина модуляції залежить від різниці прийнятого та еталонного сигналу. Ця

низькочастотна модуляція сигналу зберігається на виході детектора. Фільтр в тракті виділяє корисний сигнал з частотою модуляції. Оскільки фаза модуляції відома, НЧ детектор роблять синхронним. Опорна напруга детектора формується синхронізатором, який керує роботою модулятора [4].

На виході детектора створюється напруга, яка пропорційна різниці інтенсивностей сигналів антени та еталона. Інтегратором є фільтр нижніх частот, що визначає смугу пропускання. Частота перемикавання модулятора вибирається таким чином, щоб за один період коефіцієнт підсилення не міг значно змінитися. Слід зауважити, що максимальна частота перемикавання обмежується частотними характеристиками модулятора і залежить від типу керованого елемента. У модуляційних радіометрах сигнал з антени надходить до входу приймача тільки протягом половини періоду модуляції, тому чутливість радіометрів цього типу в два рази гірше за чутливість компенсаційних радіометрів [4].

Недоліком модуляційних радіометрів є неможливість забезпечення широкої смуги робочих частот і значного підсилення вхідних сигналів, яке обмежує можливості схеми по порогу чутливості. Крім того, на вихід радіометричного каналу проходять складові, частота яких близька до частоти комутації, що збільшує флуктуаційний поріг [3]. Результати вимірювання модуляційних радіометрів залежать від технічних та функціональних параметрів джерела еталонного сигналу, оскільки саме з ним порівнюється вимірюваний сигнал с антени.

Проведений аналіз літератури показав, що в мм-діапазоні у вище зазначених застосуваннях, більш доцільним за техніко-економічними показниками є модуляційний радіометр. Проте розширення області його застосування залежить від вірогідності вимірювань. Тому слід зменшити величину порогу чутливості та підвищити точність вимірювання інтенсивності надслабких сигналів.

Для цього доцільно екранувати об'єкт дослідження під час вимірювань.

1.2 Аналіз радіометричних методів дослідження біологічних об'єктів

1.2.1 Фізичні основи випромінювання біооб'єктів

Радіометричні дослідження у біомедичній області показують, що будь-який біооб'єкт, подібно фізичному тілу, випромінює, поглинає, відбиває та розсіює ЕМВ в широкому діапазоні частот. При цьому інтенсивність випромінювання залежить від внутрішньої та зовнішньої структури, температури, стану поверхні, частоти випромінювання, а також біохімічних та біофізичних процесів в самому об'єкті. Основною складовою випромінювання є радіотеплова.

Пояснення походження власного випромінювання живих організмів, існує запропонована в [1]. Вважається, що активними центрами в живих організмах є клітини, до яких органічно включені за понижувальною ієрархією субклітинні структури, включаючи ДНК. Верхні рівні йдуть від клітини до цілісного організму. Все це у сукупності й створює нелокальний електромагнітний потенціал, який забезпечує самоорганізацію живого організму [1].

Таким чином такому біооб'єкту притаманне когерентне ЕМВ клітин. Подібну когерентність можна пояснювати резонансним характером електроакустичних коливань клітинних мембран, частоти яких належать в мм-діапазону (10^{10} - 10^{11} Гц) [4]. Наявність на мембранах зарядів, що схильні до коливань внаслідок біофізичних процесів, робить їх на джерелами випромінювання, інтенсивність якого пропорційна квадрату прискорення зарядів. У результаті всередині живого організму діє власне когерентне поле. Стійкість когерентного поля організму забезпечується умовою біжучої хвилі зсередини до шкірного покриву під кутом рівним або більшим кута повного внутрішнього відбиття. Завдяки відбиттю у тканинах органів утворюються стоячі хвилі з відповідною інтерференційною структурою, а велике поглинання ЕМВ мм-діапазону міжклітинною рідиною компенсується безперервною

генерацією хвиль мембранами клітин. Внаслідок цього когерентне поле постійно існує і впливає на роботу всіх органів і систем в живого організму [1].

Передбачається, що випромінювання, яке генерується окремими клітинами, визначається власними резонансними частотами мембран цих клітин і кожній частоті відповідає своя сукупність змін в організмі. У цьому випадку при тривалій генерації клітиною ЕМВ з певними власними резонансними частотами на клітинних мембранах фіксуються підструктури білкових молекул, резонансні частоти яких збігаються з резонансними частотами мембрани. При тривалому існуванні підструктури інформація може передаватися новим генераціям клітин, реалізуючи таким чином індивідуальні особливості організму.

Інтенсивність нерівноважного випромінювання в більшості випадків менша, ніж у радіотеплового. Тому кількісно інтенсивність її доцільно порівнювати з інтенсивністю ЕМВ абсолютно чорного тіла (АЧТ), що має температуру живого організму, а метаболізм, обумовлений хімічними реакціями, врахувати деяким коефіцієнтом, подібним константі швидкості хімічних реакцій [3]. Спектральна щільність потужності (СЩПШ) сигналу, що приймається на вході антени РС $p(T)$ у випадку рівноважного випромінювання АЧТ можна визначити за законом Планка

$$p = hf \left(\frac{1}{\exp(hf/kT_0) - 1} + \frac{1}{2} \right),$$

де f — частота випромінювання, T_0 — температура АЧТ.

Специфічні флуктуації зарядів на біологічних мембранах спричиняють ЕМВ, спектр якого становить $1/f$, де f — частота випромінювання. Теоретичні розрахунки показують, зокрема, що в 1 кг м'язової тканини людини в діапазоні довжин хвиль 200-300 мкм (субміліметрове випромінювання) генерується до $4 \cdot 10^3$ фотонів в 1 секунду за рахунок природної радіоактивності ізотопу K^{40} [3].

Поза тілом людини когерентність ЕМП порушується в міру віддалення від шкіри людини. За структурою воно стає стохастично подібною квазішумовому з широким енергетичним спектром, яке накладається на радіотеплове [3].

1.2.2 Реакція живих організмів на зовнішнє мікрохвильове ЕМВ

Використання високочутливої РС дозволяє досліджувати поглинальну здатність живих організмів у мм-діапазоні. Експериментальні дослідження авторів [3] показали, що на деяких частотах, при рівні опромінення близького або від 10 до 50 разів більшу власну рівня випромінювання шкіри людини реєструється повне поглинання потужності опромінюваного сигналу (відрізок АД на рис. 1.4). Ці частоти визначені як "резонанси поглинання".

Подальше збереження опромінюваного сигналу призводить до появи відбитого сигналу (відрізок ДС). Ділянка шкіри людини, який опромінюється під впливом зовнішнього сигналу, немов тимчасово закривається високопровідною "шторкою", яка відбиває ЕМВ, що є захисною реакцією живого організму.

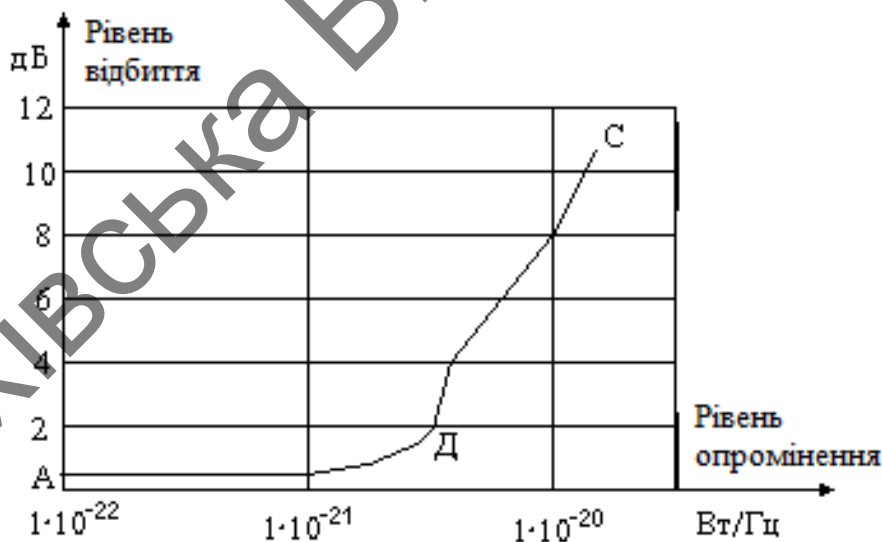


Рисунок 1.4 — Залежність рівня інтенсивності відбитого сигналу від спектральної щільності падаючого випромінювання

Відмічено резонансне поглинання на частотах 56, 61, 65 ГГц та інших частотах мм-діапазону 53-78 і 53-37 ГГц (рис. 1.5). Максимальний динамічний діапазон поглинання за потужністю зафіксований в експерименті, склав 10 дБ. Слід зазначити також, що в порівнянні з власним рівнем випромінювання людини існує порогове значення поглинання в 4-6 дБ, яке спостерігається у всьому мм-діапазоні. Крім того "резонанси поглинання" спостерігались також в діапазоні 37-53 ГГц, проте їх динамічний діапазон 6-10 дБ [5].

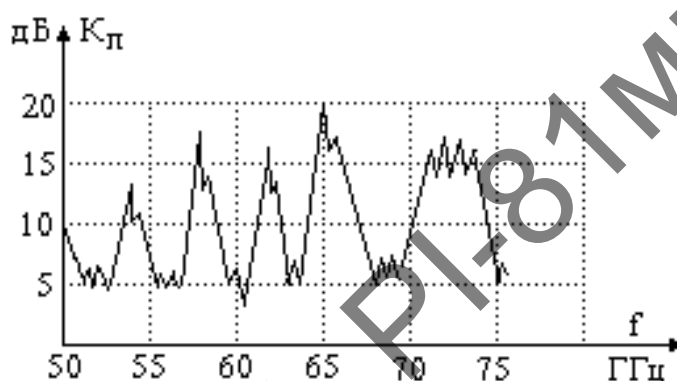


Рисунок 1.5 — Розподіл резонансів поглинання в частотному діапазоні

Крім інтенсивності випромінювання важливими параметрами при взаємодії біооб'єкту із зовнішнім ЕМП можуть бути параметри поглинання і відбиття, резонансні частоти біооб'єкту, фазовий зсув сигналу при відбитті та інше. При цьому важливою особливістю подібних вимірювань є необхідність їх проведення в ближній зоні антени або безпосередньо на поверхні біооб'єкту. Відомо, що подібні вимірювання на рівнях $1 \cdot 10^{-12} \dots 1 \cdot 10^{-15}$ Вт можна проводити тільки з використанням високочутливих модуляційних РС [2, 5].

У свою чергу вимірювання реакції біооб'єктів в зовнішньому ЕМП краще проводити з використанням автоматизованої РС, що забезпечує більш широкі можливості при вимірюванні параметрів як випромінюючих, так і відображаючих сигнали (рис. 1.6) [5]. Режим роботи РС забезпечує на виході приймача (Пр) напругу при появі на його вході відбитого сигналу. Оскільки

генераторний блок (ГБ) забезпечує модуляцію цього сигналу синхронно з опорним сигналом приймача, різко підвищує його чутливість.

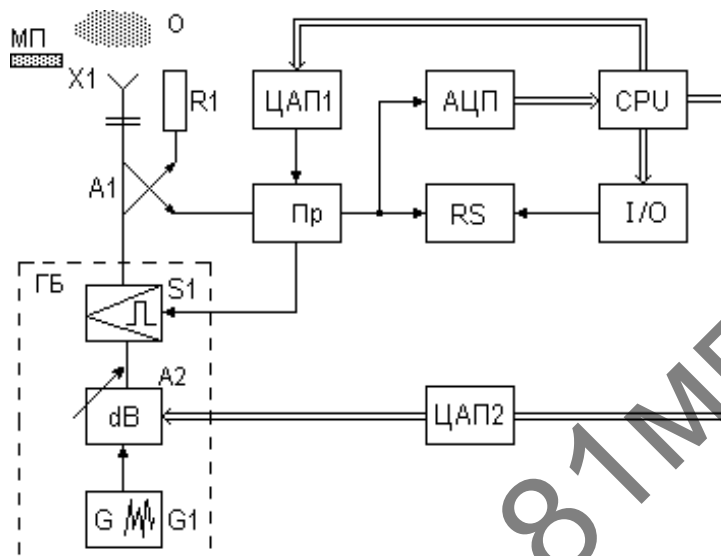


Рисунок 1.6 — Установка для вимірювання поглинаючої здатності об'єктів

Вихідна напруга вимірювального приймача (Пр) надходить на АЦП, і далі на мікропроцесор CPU комп'ютера, де здійснюється обробка вимірювальної інформації та виведення її на пристрій вводу / виводу. Одночасно з виходу CPU за певною програмою на ЦАП1 і ЦАП2 подаються кодовані сигнали керування, які перетворюються у вихідні напруги. Напруга ЦАП1 змінює частоту гетеродина Пр від $f_{\min}$ до $f_{\max}$ з кроком $n = \Delta f$, де Δf — смуга частот підсилювача ПЧ. На кожному такті одночасно зі зміною частоти гетеродина проводиться перебудова вихідного сигналу атенюатора А2 ГБ вихідним напругою ЦАП2.

Оцінка поглинальної здатності об'єкта дослідження (фізичного тіла або біооб'єкту) проводиться в два етапи: калібрування та вимірювання. Калібрування системи реалізується за допомогою екранування МП від входу антени X1. У цьому випадку сигнал повністю відбивається від МП і надходить до Пр, вихідний сигнал якого реєструється. За допомогою атенюатора ГБ виставляється значення реєстратора RS, при якому співвідношення сигнал / шум дорівнює 1: 1 (на рівні флуктуаційного порогу чутливості PC).

Відзначається значення атенюатора генераторного блоку N_1 (дБ). Потім відводиться МП і до антени Х1 підводиться об'єкт дослідження О. Збільшуючи сигнал атенюатора ГБ, домагаються відхилення показника реєстратора RS і встановлення його знову на значення, яке також задовольняє співвідношення сигнал / шум — 1: 1. Відзначають значення атенюатора ГБ N_2 (дБ). Таким чином, поглинальна здатність об'єкта визначається як

$$N_{\Pi} = N_1 - N_2$$

Використання РС для оцінки поглинальної здатності об'єктів дозволяє значно знизити рівні опромінюючих сигналів, які достовірно аналізуються і складають $1 \cdot 10^{-12} - 1 \cdot 10^{-14}$ Вт для монохроматичних і $1 \cdot 10^{-20} \dots 1 \cdot 10^{-22}$ Вт / Гц для шумових сигналів.

Дослідження поглинальної здатності живих організмів виявили значну нелінійність щодо рівня опромінення [6].

Аналіз експериментальних даних поглинальної здатності біооб'єктів показує, що організм людини реагує на рівень сигналів, які відрізняються (в 2-5 разів) від рівня власного випромінювання [6].

Значне (в 10-100 разів) збільшення інтенсивності призводить до появи відбиття потужності опромінюючого сигналу, що свідчить про захисні властивості живих організмів.

1.3 Особливості застосування мікрохвильової радіометрії в медицині

Міліметровий діапазон довжин хвиль, який є частиною мікрохвильового діапазону, з радіотехнічної точки зору характеризується рядом особливостей, пов'язаних із значним поглинанням сигналів в атмосфері молекулами кисню і водяної пари і "резонансним" впливом на живі організми. Ці особливості стали одним з чинників появи нового напрямку науки — фізики живого та її прикладного застосування — квантової медицини як нової галузі практичної медицини [2, 6, 8].

1.3.1 Радіометричні засоби у лікувальних технологіях

Однім з напрямків квантової медицини є мікрохвильова резонансна терапія (МРТ), яка використовує здатність низькоінтенсивних сигналів мм-діапазону (монохроматичних або шумових) впливати на організм через біологічно активні точки (БАТ) людського організму [4].

Рівень СЦППШ опромінених сигналів, що використовується в технологіях квантової медицини і забезпечує стійкі біологічні ефекти, є дуже малим і не перевищує $\sim 1 \cdot 10^{-20}$ Вт / Гц [8, 9], що значно нижче рівнів, які спричиняють тепловий вплив (нагрівання) на біологічні тканини ($P_{\text{опр}} > 10^{-2}$ Вт / Гц).

Електромагнітне випромінювання такого низького рівню може впливати на живий організм, по суті, тільки інформаційно, не спричиняючи теплових процесів. Низькоінтенсивне ЕМВ мм-діапазону забезпечує нормалізацію «електромагнітного каркаса», а через нього нормалізацію всіх систем життєдіяльності організму, біохімічні та біофізичні [1, 4].

Як показує досвід застосування МРТ, однозначно можна стверджувати, що найбільший вплив на людину здійснюють ЕМВ частотного діапазону 40-70 ГГц [5]. Причому його спектр фактично є суцільним через перекриття сусідніх ліній. Такий вид спектру у присутності детермінованих характеристичних частот можна пояснити «ієрархією дисипативних систем», що призводить до розширення спектральних ліній, а перекриття сусідніх ліній створює ефект суцільного спектра [4].

З точки зору авторів [6], організм людини одночасно реагує на ЕМВ як теплового, так і нетеплового рівня. Цим пояснюється ефективність застосування зовнішнього низькоінтенсивного ЕМВ при лікуванні низки захворювань та деякі особливості функціонування імунної системи людини. Позитивний ефект пояснюється тим, що електромагнітні сигнали лікувальної апаратури в діапазоні міліметрових хвиль імітують власні сигнали живого організму. Як наслідок такої дії на клітинні мембрани та білкові структури поліпшуються показники імунної системи і тим самим підвищуються захисні властивості організму в цілому.

З метою уточнення характеру взаємодії зовнішнього ЕМВ з біоб'єктами були проведені експериментальні дослідження власного випромінювання як людини так і деяких інших біоб'єктів. Рівень випромінювання людини перебувати в межах $1 \cdot 10^{-21} \dots 1 \cdot 10^{-22}$ Вт / Гц, причому інтенсивність його у різних людей може відрізнятися в 3 і більше разів, на відміну від постійного рівня випромінювання води. Основні результати таких досліджень приведені в [3].

На рис. 1.7 показані орієнтовні межі розсіюється випромінювання людини. Інтенсивність випромінювання для кожного конкретного організму наближається до постійного значення при збереженні його індивідуального рівня, і характеризує його енергетичну активність, яка тісно пов'язана з генетичними особливостями і фізіологічним станом людини, особливостями життя і харчування. Мікрохвильове ЕМВ людського тіла реєструвалось за допомогою РС (при заданій чутливості) на відстані до 1-1,5 см.

В іншому експерименті проведено порівняльне дослідження рівню випромінювання долоні, кістки та води (рис. 1.8) [8]. Інтенсивність ЕМВ долоні була постійною протягом контрольованого відрізка часу, а інтенсивності ЕМВ води і кістки знижувались через зниження їх температури. Проте характеристика інтенсивності води завдяки більшій теплоємності має менший кут нахилу.

Вивчення складу і режиму харчування пацієнтів, які проходили лікування в Центрі квантової медицини МОЗ України (м.Київ) дозволили визначити кореляцію рівня випромінювання в залежності від складу їжі. Так, індивідууми, які більше вживають м'ясну їжу, як правило, мають підвищений рівень випромінювання і тому показником формують групу людей з максимальним рівнем випромінювання, наближеного до $(1 \dots 0,8) \cdot 10^{-21}$ Вт / Гц. Люди, що вживають більше рослинної їжі, мають занижений рівень випромінювання наближений до $(0,2-0,4) \cdot 10^{-21}$ Вт / Гц [10].

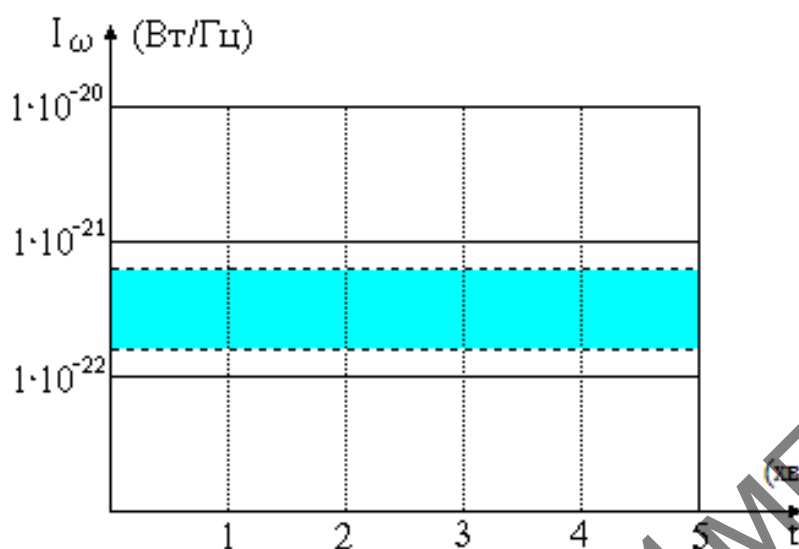


Рисунок 1.7 — Зона розподілу потужності випромінювання долоні людини

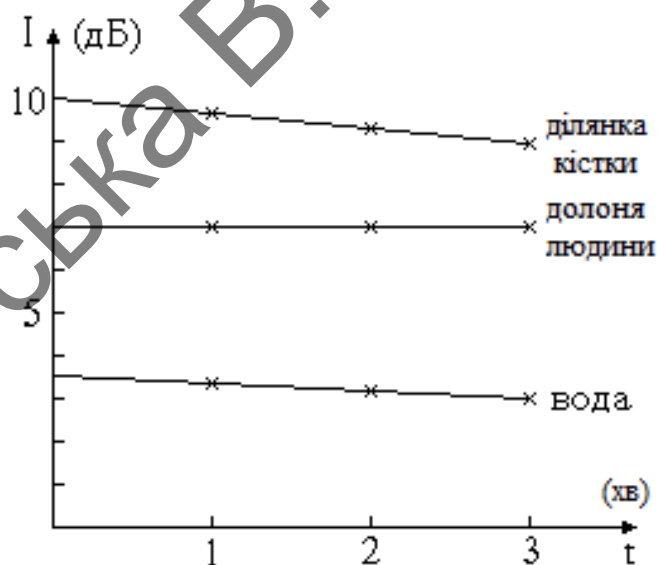


Рисунок 1.8 — Розподіл інтенсивності випромінювання деяких об'єктів в часі

Порівнюючи дані щодо рівнів потужності лікувальної апаратури, яка застосовується у квантовій медицині, зокрема у мікрохвильовій резонансній терапії [4], можна стверджувати про дуже низький рівень інтенсивності

електромагнітних сигналів, які можуть спричиняти лікувальний ефект. Тому як метрологічне забезпечення лікувальної апаратури мають застосовуватись методи і засоби мікрохвильової радіометрії.

1.3.2 Радіометричні методи в медичній діагностиці

Приведені в [1, 4] результати обстежень свідчать, що пацієнти з хронічними захворюваннями шлунково-кишкового тракту, ослабленою функцією печінки та інших внутрішніх органів мають, зазвичай занижений рівень випромінювання. Пацієнти з новоутвореннями 3-4 стадії відрізняються підвищеним рівнем випромінювання, що на наш погляд, пов'язано з посиленням енергетичних процесів, що проходять в організмі на цих етапах захворювання [9].

Відзначено випадки різкого зниження інтенсивності власного випромінювання у пацієнтів з зазвичай високим рівнем випромінювання в разі харчового отруєння. Після усунення причин отруєння власний рівень випромінювання нормалізується [9].

В результаті обстеження практично здорових людей, які практикують лікувальне голодування отримано, що вони мають середній або підвищений рівень випромінювання та відзначено можливість підвищення ослабленого рівня випромінювання у пацієнтів з хронічними захворюваннями шлунково-кишкового тракту після тривалого прийому (2-3 тижні) настоянок певних трав, з метою нормалізації ослаблених органів [9].

Таким чином, режим харчування і склад їжі здатні регулювати рівень власного випромінювання людини, виконуючи тим самим своєрідні функції енергетичного підживлення як клітин, так і організму в цілому, і забезпечуючи при цьому оптимальний режим енергетичного функціонування людського організму.

Отже, проведений аналіз дозволяє стверджувати, що мікрохвильове випромінювання біологічних об'єктів може надавати важливу інформацію про їх

стан, і використання радіометричних методів відкриває значні можливості для вивчення електромагнітних властивостей живих організмів.

Крім впливу режиму харчування, сну і інших чинників було також досліджено вплив на інтенсивність власного випромінювання людини режиму ендогенного (внутрішнього) дихання [5]. За твердженням автора [10] ендогенне дихання є внутрішнім диханням, в процесі якого використовується ендогенний кисень. Воно значно впливає на енергетику як клітин так і організму в цілому, яка зростає в 2-3 рази, нормалізуючи стан людини.

З огляду на вищевикладене авторами [12] проведено дослідження впливу ендогенного дихання на рівень власного ЕМВ людини, оскільки він має кореляційний зв'язок з енергетичним станом біологічного об'єкта. Реалізація ендогенного дихання здійснювалася за допомогою дихального тренажера ТДІ-01 (тренажер Фролова). В експерименті взяли участь два практично здорових респондента - М. (вік 57 років) з підвищеною інтенсивністю випромінювання і респондент Б. (вік 21 рік) з інтенсивністю випромінювання нижче середньої. Інтенсивність випромінювання пацієнтів розрізнялася приблизно $1,5 \div 1,8$ рази. Вимірювання здійснювалися за допомогою високочутливих РС мм-діапазону НУ-1 і НУ-2 на частотах 42 і 60 ГГц. Вимірювання рівня власного випромінювання (лівої і правої долоні) проводилося 2 рази в день - до початку і в кінці сеансу дихання. Кількість сеансів становило по 10 на кожній із зазначених частот.

На рис. 1.9 і 1.10 приведені результати дослідження впливу ендогенного дихання на рівень власного випромінювання організму [12].

Аналіз отриманих даних для респондента М. (57 років) показує, що на частоті 60 ГГц (резонансна частота поглинання кисню) ендогенне дихання призводить до зменшення рівня випромінювання (9 вимірювань з 10), а один випадок без змін. На частоті 42 ГГц зменшення рівня випромінювання відзначено в 7 випадках з 10, без змін 2 вимірювання і 1 випадок незначного підвищення. ЕМВ респондента Б. (21 рік) ендогенне дихання призводило до збільшення рівня випромінювання на частотах 60 і 42 ГГц в 7 випадках з 10.

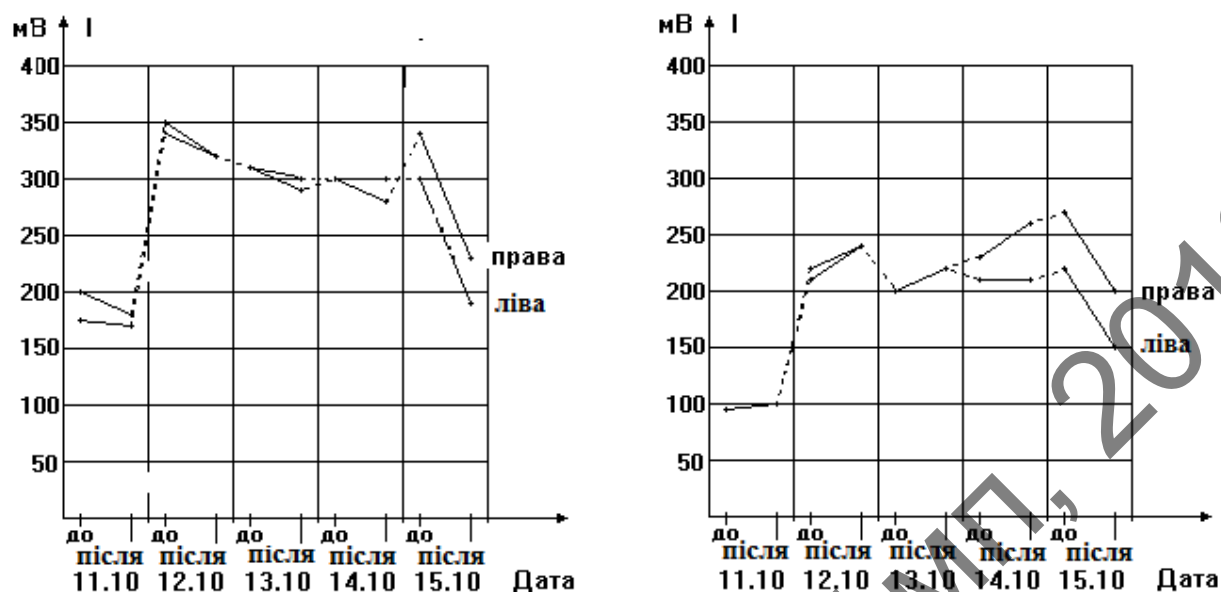


Рисунок 1.9 – Випромінювання респондентів на частоті 60 ГГц

Таким чином, ендогенне дихання сприяє нормалізації власного випромінювання людини, наближаючи його до середньостатистичного значення, характерного для більшості здорових людей.

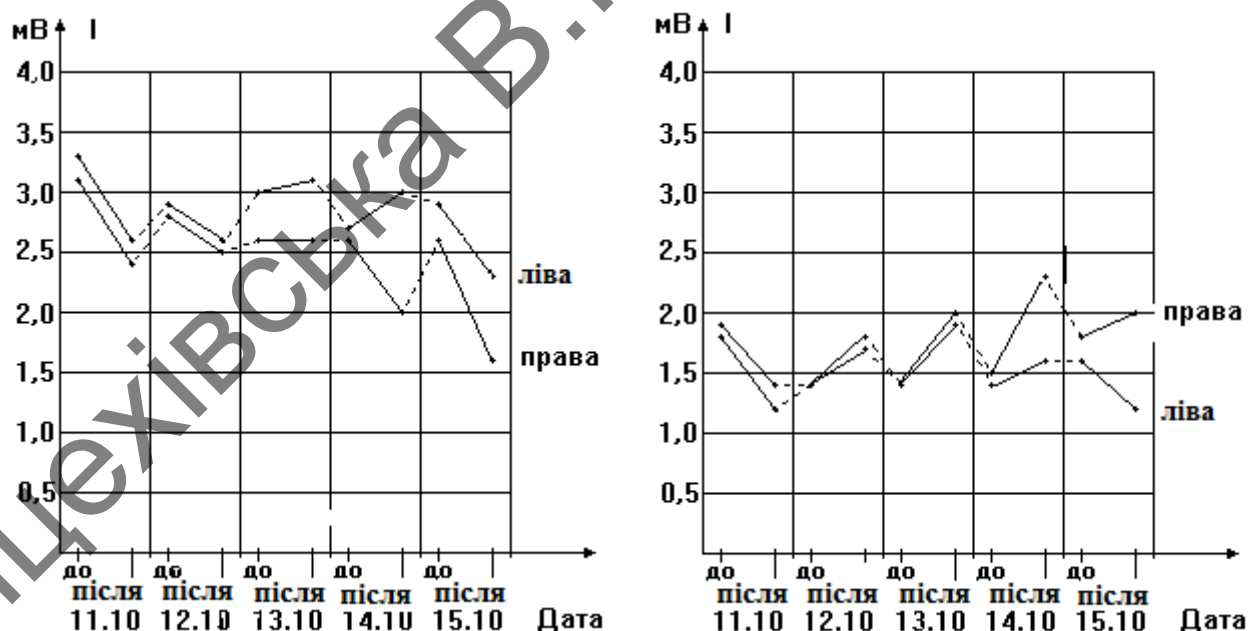


Рисунок 1.10 – Випромінювання респондентів на частоті 42 ГГц

Таким чином, власне мікрохвильове випромінювання людини має тісний кореляційний зв'язок зі станом організму та його органами, травної, дихальної та кровоносної системами. Результати експериментальних досліджень здорових і

хворих людей підтверджують можливість використання мікрохвильової радіометрії в діагностиці стану організму людини.

Пасивний метод радіометрії дозволяє вимірювати різницю температур між здоровою та злоякісною тканинами, і виявляти таким чином пухлини, ґрунтуючись на їх підвищеній температурі в порівнянні з нормальною тканиною [12]. Перевагою методу є те, що організм людини при обстеженні не буде зазнавати зовнішній вплив. Такий підхід у порівнянні з інфрачервоним теплобаченням ґрунтується на можливості змін температурних характеристик глибинних шарів біотканин. Метод не потребує виконання хірургічних маніпуляцій або ж опромінення електромагнітними полями. Отже він повністю безпечний. При зондуванні середовища з вільного простору гранична просторова розгортка дорівнює половині довжини хвилі. Тому поліпшити розгортку можна тільки за рахунок контакту апертури антени із середовищем, тобто використовуючи аплікаторні антени. Використання антен такого типу також дозволяє зменшити вплив відбиття електромагнітних хвиль [12].

У праці [8] показано, що багато пухлин в мікрохвильовому діапазоні мають електричні властивості, які значно відрізняються від здорових тканин, що підтверджує застосовність і очевидну цінність саме мікрохвильової радіометрії для виявлення новоутворень в тканинах. Доведено, що швидкість росту пухлини прямо пропорційна питомому тепловому випромінюванню у НВЧ діапазоні хвиль. Цей факт підтверджено томографічним обстеженням [11].

Таким чином, методи мікрохвильової радіометрії можуть виявляти в першу чергу швидко ростучі пухлини, тому їх доцільно застосовувати як складову комплексної діагностики [13]. Для досягнення точних та достовірних результатів використовують декілька типів антен для приймання сигналів різної частоти (3–100 ГГц), що дозволяє вибрати оптимальні характеристики пристроїв.

Для того, щоб за допомогою таких радіометричних досліджень можна було встановити наявність пухлини необхідно провести спеціальне калібрування діагностичної системи, застосовуючи макет з імітованою пухлиною, і порівняти

дані, що отримані, коли вона відсутня. Це дозволяє визначити ту необхідну різницю, за якою можливо встановити діагноз, а також місцезнаходження пухлини. Проте при такій діагностиці виникають певні складності, якщо злоякісні утворення мають інтенсивність випромінювання, нижчу ніж власні шумів вимірювального пристрою. Це означає, насамперед, що об'єкт дослідження необхідно екранувати від зовнішнього середовища, а для більш точної діагностики використовувати програмно-апаратну обробку результатів вимірювань.

1.4 Засоби визначення біосумосності матеріалів та біотканин

1.4.1 Біосумісність матеріалів медичного призначення

Вимірювання ЕМВ низької інтенсивності радіометричними методами відкриває можливість дослідження взаємодії власного поля людини, або іншого біооб'єкта та штучних матеріалів, які контактують між собою.

В умовах життєдіяльності людини між ним і навколишнім середовищем здійснюється теплообмін шляхом інфрачервоного випромінювання. Тіло людини здатне вбирати ІЧ-випромінювання від різних джерел - сонця, поверхні землі, нагрівальних приладів і т.д. Організм людини охолоджується, коли тіло випромінює ІЧ-промені в нижчу температурну середу. При цьому втрата тепла випромінювання може бути причиною місцевого або загального охолодження людини. Перспективними методами вимірювання втрат є радіаційні дослідження, які здійснюються при використанні ІЧ-радіометрів. Проте слід зазначити, що інформативність і точність подібних засобів вимірювання недостатня, оскільки різниця коефіцієнта випромінювання текстильних матеріалів різних за волокнистому складу в ІЧ-зоні незначна (бавовна – 0,78, віскоза – 0,74, нітронове волокно – 0,75), що не дозволяє в повній мірі проводити оцінку комфортності матеріалів для одягу.

Для реєстрації електромагнітних властивостей матеріалів, які контактують зі шкірою людиною, запропоновано використовувати високочутливі

мікрохвильові РС, які забезпечують більш високу роздільну здатність в порівнянні з ІЧ-радіометрами [14]. Технологія проведення експерименту така. Матеріали для виготовлення одягу нагрівалися в термостаті до температури $37,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$, що відповідає в середньому температурі тіла людини при комфортних кліматичних умовах. Оцінка випромінювальної здатності проводилася за допомогою РС на частоті 52 ГГц. Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 1.11.

З розподілу інтенсивності (I_ω), видно, що натуральні матеріали (хутро, шкіра, бавовна, льон) найбільш близькі до випромінювальної здатності людини. Синтетичні і змішані матеріали мають значно меншу радіаційну здатність і, по суті, є джерелами негативних електромагнітних потоків, що призводить до збільшеного відбору енергії з поверхні тіла людини, тобто сприяють інтенсивному охолодженню. У той же час тканини з натуральних волокон сприяють збереженню температури тіла, менше послаблюють і більш сумісні з мікрохвильовим полем людини.

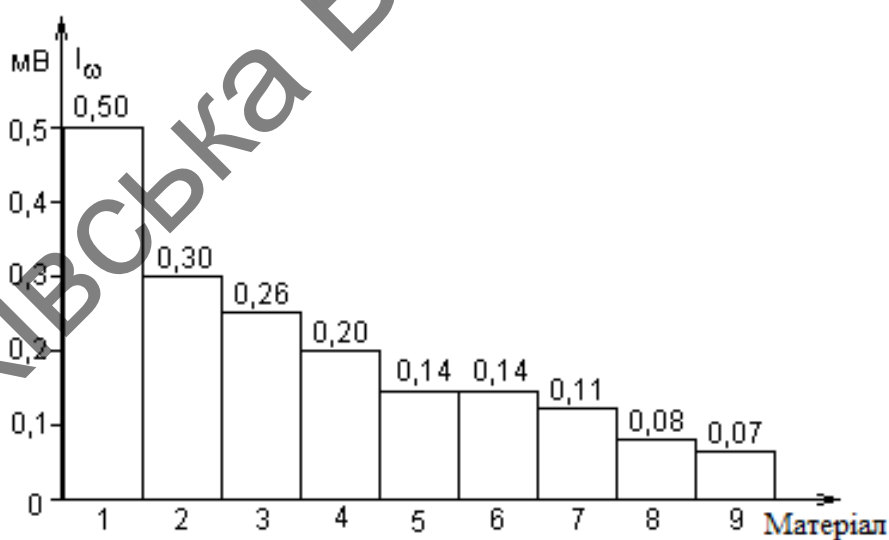


Рисунок 1.11 — Розподіл випромінюючої здатності текстильних матеріалів для одягу: 1 – людина, 2 – хутро нутрії, 3 – хутро лисиці, 4 – льон, 5 – овчина,

6 – бавовна, 7 – глсин (65% поліестер, 35% бавовна), 8 – глзел (65% поліестер, 35% бавовна), 9 – поліестер 100%

Таким чином, як впливає з рис. 1.11, випромінювальна здатність натуральних матеріалів в мікрохвильовому діапазоні в 2-3 рази вище щодо синтетичних, що забезпечують більшу чутливість і є перевагою даного методу в порівнянні з методом ІЧ. Оцінка мм-випромінювання показала, що найбільш сприятливими (сумісними) для організму людини є натуральні матеріали. Матеріали з синтетичних волокон, а також із суміші синтетичних і натуральних волокон є менш сприятливими для тіла людини. Вони можуть бути використані в теплу пору, особливо для захисного одягу, оскільки створюють ефект охолодження, необхідний при високих температурах.

Аналогічний ефект спостерігається у випадку контакту шкіряної поверхні людини з мінералами. Наприклад, якщо порівняти рівні теплового ЕМВ шкіри людини, мінеральних матеріалів та води, нагрітих до температури 37°C, то нефрит має значно рівень 13,5 дБ відносно рівня води, а шкіра людини — тільки 7 дБ, а кварц — нижче від рівня води [12]. Можливою причиною цього факту є наявність в кістках людини і мінералу нефриту солей кальцію (наприклад, в кістках — фосфату кальцію $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, а в той же час відомо, що атоми Ca активно реагують на тепловий вплив. Так, середньоквадратичне зміщення атомів Ca при теплових коливаннях дорівнює $0,114 \text{ \AA}$ [15]. По реакції на теплове подразнення Ca займає місце серед таких активних елементів, як Li, Na, K, Rb і Cs, частина з яких (K, Na, Ca) активно використовується біологічними об'єктами в про процесі свого життєзабезпечення. Очевидно підвищення рівня випромінювання розглянутих елементів (кістки, ракушняк і нефриту) пов'язане зі збільшенням їх коефіцієнта "сірості". Кістки людини використовують своєрідну роль генератора і хвилеводів НВЧ-коливань і забезпечують випромінювання і передачу електромагнітних коливань всередині біологічного об'єкта, на відміну від шкіри людини, яка активно поглинає низькоінтенсивні сигнали мм-діапазону [12].

Приведені приклади показують, що зміна електромагнітного поля, у якому функціонують клітини живого організму, може змінюватись не тільки через вплив зовнішнього пристрою, що генерує ЕМВ. Таким джерелом може бути також і речовина, випромінювальна здатність якої більша, ніж у біооб'єкту. Дану особливість слід враховувати під час виготовлення біоматеріалів.

В процесі розвитку медицини вчені поступово досліджували та вивчали можливість застосування імплантів, які допомагатимуть живим організмам функціонувати або виконувати максимально схожі дії. На початку використання імплантів, вибирали матеріали, що мали механічну та фізичну сумісність з тканинами живого організму. Тобто основною вимогою, була відсутність деградації та біологічного руйнування тканин, внаслідок їх взаємодії. З часом до таких матеріалів додавались нові вимоги. Безпеку майбутньої взаємодії обґрунтовували хімічною та біологічною інертністю. Таким чином, матеріали мали бути нетоксичними, неалергенними, неканцерогенними, нетромбогенними. Тобто, для виготовлення потрібного імпланту, матеріал досліджувався не тільки на фізичну та механічну, а тепер й на біологічну сумісність.

В сучасній медицині і техніці, яка пов'язана з біооб'єктами використовується широкий спектр матеріалів, які називаються біоматеріалами. Вони можуть бути природнього, штучного (синтетичного) або комбінованого походження. Такі матеріали мають відповідати певним вимогам, які обумовлюють біосумісність.

В теперішній час під біосумісністю розуміють здатність матеріалу виконувати певні функції в живому організмі, не спричиняючи побічних клінічних проявів та індукувати клітинну та тканинну відповідь, необхідну для досягнення оптимального терапевтичного або діагностичного ефекту [1, 2]. Удосконаленні клінічних досліджень привело до розуміння того, що матеріал має вступати з організмом у певну взаємодію, а не просто ігноруватися живою тканиною, що його оточує. Це необхідно для того, щоб матеріал викликав певну реакцію тканини, за рахунок чого буде забезпечуватись його ефективне приживання.

В залежності від реакції тканини виділяють 4 категорії матеріалів:

- 1) токсичні — руйнують оточуючі тканини;
- 2) інертні — навколо яких в організмі утворюється волокниста неприлегла тканина;
- 3) біоактивні — утворюється прилегла міжповерхневий зв'язок матеріалу і тканини, інкапсуляція мінімальна;
- 4) біорезорбуюча — матеріал по мірі розчинення заміщується тканиною організму. При цьому, продукти розпаду мають бути нетоксичними.

Перераховані вище категорії матеріалів, за винятком токсичних, відносяться до класу біосумісних. Керамічні нанопокриття кістковозаміщуючих імплантів та інших елементів, які здатні індукувати кісткові утворення, є прикладом біоактивного матеріалу. Прикладами безпечної резорбції матеріал та його заміщення природною тканиною є поліестерний шовний матеріал та ортопедичні імпланти.

До основних характеристик матеріалу, які можуть вплинути на відповідь організму, належать: склад матеріалу; кристалічність; пружність; масова доля води, гідрофобний-гідрофільний баланс; макро-, мікро-, нанопористість; хімічний склад поверхні; рельєф поверхні; енергія поверхні; параметри корозії; форма продуктів деградації та токсичність [9].

Проведений аналіз показує, що критерії біосумісності постійно уточнюються, а їх кількість зростає, проте не враховуються електромагнітні властивості біоматеріалів, зокрема поглинальна та випромінювальна здатність, а ці показники є особливо важливими з врахування впливу на живі організми ЕМВ мм-діапазону. Як показано вище, таке випромінювання може здійснювати значний вплив на біофізичні процеси в живих організмах. Хоча механізми впливу є не до кінця визначеними, на даний момент, проведено багато досліджень та експериментів, результати яких показують, що при частоті вище 30 ГГц біологічні ефекти дії ЕМВ мають частотну залежність, обумовлену, резонансними явищами. Проте не дивлячись на велику кількість описаних таких

ефектів впливу міліметрових хвиль, загальне розуміння фізичних основ впливу електромагнітного впливу з біологічними системами залишається неповним [10].

1.4.2 Сумісність матеріалів в біосенсорах

В сучасній мікросистемній техніці набули стрімкого розвитку біосенсори та біоелектроніка. Біосенсори розглядаються як перше покоління біоелектронних пристроїв. Ці мініатюрні електронні пристрої, оснащені біологічними елементами, перетворюються в двигуни технологічної революції. Незабаром в наше життя повинні увійти особливі біосенсори, здатні контролювати та інформувати про процеси, відстежити які людина безпосередньо не здатний [2, 5].

Біосенсори — це спеціальні аналітичні пристрої, які застосовують біологічні матеріали з метою ідентифікації певних молекул. Вихідний електричний сигнал біосенсора містить інформацію про наявність та кількість таких молекул. Велика сенсорів такого класу орієнтована на проведення аналізу біологічних рідин. Наприклад, кров складається з тисячі різних сполук. Визначення концентрації глюкози здійснюється відповідним біосенсором.

У чутливому шарі прилад має свій біологічний матеріал: ДНК, рецептори, органели, ліпосоми, антитіла, антигени, дріжджі, бактерії, тканини і ферменти. Вони безпосередньо реагують на присутність визначається компонента, забезпечуючи генерування сигналу в залежності від його концентрації.

Всі біосенсори класифікуються за способом вимірювання [15]:

- 1) електрохімічні сенсори діють за принципом вимірювання електричного струму, який виникає внаслідок відновлення або окислення електрохімічних активних речовин на робочому електроді, або на вимірюванні різниці потенціалів електродом порівняння і робочим електродом при постійному струмі.
- 2) п'єзоелектричні пристрої чутливі до зміни маси, щільності на поверхні фізичного носія, а також частоти коливань акустичних хвиль і в'язкості середовища.

3) оптичні сенсори реагують на фізично-оптичні параметри, а не на хімічну взаємодію компонента з чутливим елементом. Це може бути інтенсивність поглинання, люмінесценція об'єкта, віддзеркалення світла і так далі.

Будь-які біосенсори конструктивно представляють комбінований пристрій, який складається з двох принципових функціональних елементів: фізичного і біохімічного, вони знаходяться в тісному контакті. Біохімічним елементом є біоселектуюча структура, яка відіграє роль елемента біологічного розпізнавання. Для цього можна використовувати всі типи біологічних структур: нуклеїнові кислоти, рецептори, антитіла, ферменти і навіть живі клітини. Фізичний перетворювач сигналу перетворює визначається компонент, тобто концентраційний сигнал в електричний. З метою зчитування і запису інформації застосовуються електронні системи посилення, а також реєстрації сигналу.

Принцип роботи пристрою (рис. 1.12) такий. На першому етапі дії здійснюється «впізнавання» біоелементом специфічної речовини, яка міститься в багатокомпонентній суміші. На другій стадії здійснюється перетворення інформації про протікання конкретної біохімічної реакції в форму електрохімічного сигналу. Електричний сигнал на останній стадії перетворюється в форму сигналу, яка прийнятна для обробки.

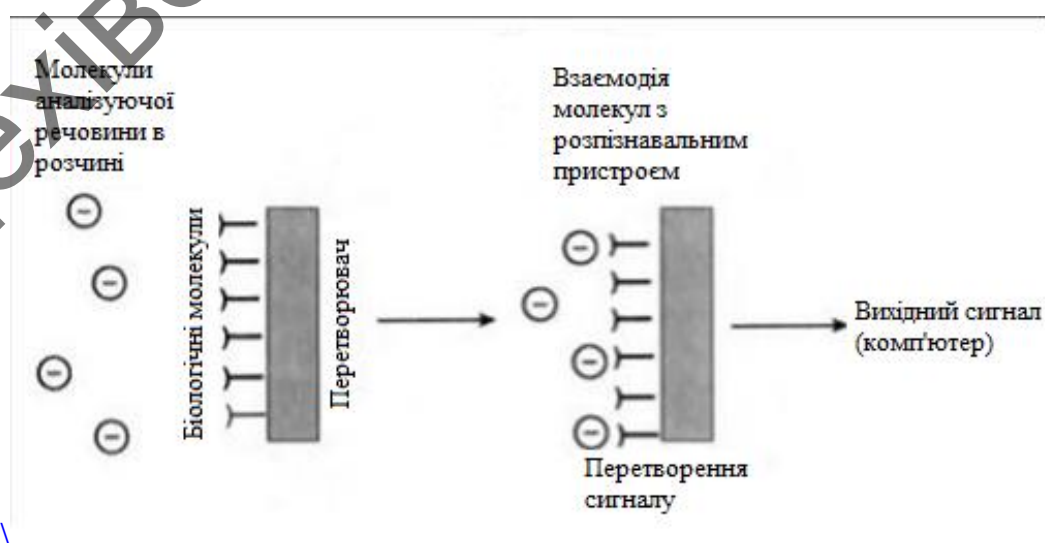


Рисунок 1.12 — Принцип роботи біосенсора

Біосенсори застосовуються для вимірювання та ідентифікації кількості найменших концентрацій самих різних речовин. При зв'язуванні біологічного компонента з певною речовиною перетворювач генерує оптичний або електричний сигнал, потужність якого знаходиться в пропорційній залежності від концентрації речовини. Так в ферментних пристроях визначається речовина, яка через напівпроникну мембрану дифундує в тонкий шар біокаталізатора, де і здійснюється ферментативна реакція. Оскільки продукт реакції в цьому випадку визначається за допомогою електрода, на поверхні якого є фермент, то подібний пристрій часто називають ферментним електродом.

В мікробних сенсорах, що складаються з іммобілізованих мікроорганізмів, а також електрохімічного датчика, принцип роботи полягає в асиміляції органічних сполук мікроорганізмами. Цей процес реєструється електрохімічними датчиками. Сенсори такого типу застосовуються у різних сферах. Наприклад, в харчовій промисловості — для визначення концентрації етилового спирту, цукру та крохмалю.

Найбільш широке застосування біосенсори на поточний момент знаходять саме в медицині. Ферменти все частіше використовуються для автоматизованого, але рутинного аналізу вмісту гормонів, ліків і метаболітів в біологічних рідинах людини. Такі пристрої особливо важливі для клінічної діагностики в лікарнях. Завдяки їх застосуванню зменшується ризик помилок при постановці діагнозу, в тому числі знижуються витрати, так як подібні сенсори доступні і широко поширені. Діагностика за допомогою біологічних сенсорів дозволяє лікарям-терапевтам оперативно отримувати результати аналізів без використання послуг лабораторій.

Подальший розвиток напряму біосенсорів передбачає створення пристроїв, які спроможні замінити рецептори живих організмів та окремі штучні органи людини, а також використовувати їх для інформативної і точної діагностики певних захворювань [16].

Використання матеріалів широкого спектру в сучасній медицині для виготовлення імплантів, ендопротезів, а також в мікросистемній техніці для виготовлення чутливих елементів біосенсорів передбачає довготривалу взаємодію такого матеріалу з біотканиною.

Висновки до розділу 1

Для зменшення негативного впливу їх на біотканини розроблена низка вимог (критеріїв біосумісності), які враховують різноманітні наслідки їх механічної, хімічної та іншого роду взаємодії. Проте не враховуються електромагнітні властивості біотканин та біоматеріалів, що може порушувати баланс між ЕМВ, яке біотканина поглинає та випромінює. Таке порушення, особливо для мм-діапазону, може приводити до зміни перебігу процесів у біотканині. Таким чином критерії біосумісності доцільно доповнити порівнянням електромагнітні параметрів матеріалу та біотканини, зокрема, їх коефіцієнтів поглинальної та випромінювальної здатності. Оцінювати дані величини можна методом мікрохвильової радіометрії.

2 ОБГРУНТУВАННЯ РАДІОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

2.1 Математична модель поширення електромагнітного випромінювання у біотканині та біоматеріалі

У критеріях біосумісності, які застосовуються під час вибору матеріалів для пристроїв біомедичного призначення у даний час не враховується співвідношення інтенсивностей власного ЕМВ біоматеріалу та біотканини. Проте, як показано у розділі 1, зовнішнє випромінювання може суттєво впливати на перебіг фізичних та хімічних процесів тканинах організму. Особливу увагу слід звернути на випромінювання мм-діапазону через його вплив на живі організми навіть при дуже малих значеннях інтенсивності [3, 5]. Можна вважати, що власне випромінювання біотканини спричинено тепловим нагрівом до температури тіла організму, а також біохімічними та біофізичними процесами, що забезпечують життєдіяльність біотканини. У той же час, аналогічно випромінювання біоматеріалу обумовлено тільки тепловим нагрівом заряджених частинок у його середині. Проте необхідно враховувати внутрішню будову такого матеріалу, оскільки рухливість іонів різних атомів різна, а від цього може залежати рівень теплового випромінювання (див., наприклад, [3]). Таким чином, на частоті f СЩПШ теплового випромінювання p_B поверхні відокремленої біотканини у зовнішній простір з коефіцієнтом заломлення $n=1$ визначається формулою Планка [6]

$$p_{BT} = r_B \left[\frac{hf}{\exp(hf/kT) - 1} + \frac{1}{2} hf \right] \quad (2.1)$$

де $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — стала Планка; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — стала Больцмана; T — температура біотканини; r_B — її випромінювальна здатність.

Формула (2.1) спрощується для частот мікрохвильового діапазону ($hf \ll kT$) і переходить у формулу Найквіста

$$p_{BT} = r_B kT. \quad (2.2)$$

Позначаючи СЩПШ, що обумовлена нетепловими, тобто біохімічними та біофізичними, процесами у біотканині через p_{B0} , загальну спектральну щільність можна записати таким чином

$$p_B = p_{BT} + p_{B0} = r_B kT + p_{B0}. \quad (2.3)$$

Для відокремленого біоматеріалу другий доданок буде відсутнім, оскільки немає процесів, притаманних живій тканині. Тому можна записати

$$p_M = p_{MT} = r_M kT, \quad (2.4)$$

де T — температура біоматеріалу (вважаємо, що вона така ж, як і у біотканині); r_M — випромінювальна здатність біоматеріалу.

Оскільки у мм-діапазоні товщина скін-шару біотканини Δ_B складає від 0,5 мм, для м'яких тканин, до 1,5 мм, для кісток [7], а для біоматеріалу товщина скін-шару Δ_M може змінюватись майже від $\Delta_M = 0$ (для металів), то з певним припущення можна поширення плоских хвиль у двошаровому середовищі «біотканина — біоматеріал» (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 — Поширення плоскої хвилі на межі біотканини та біоматеріалу

Таким чином використовуватимемо модель планарної біологічної тканини, вважаючи, що радіус кривизни поверхні межі більше довжини хвилі.

Відбиття та передача ЕМВ залежать від частоти, поляризації, кута падіння, діелектричної постійної та провідності тканини. Для лінійно поляризованої плоскої хвилі, яка поширюється з біотканини до біоматеріалу, коефіцієнти відбиття та проходження дорівнюють:

$$\Gamma = \frac{\eta_M - \eta_B}{\eta_M + \eta_B} \quad (2.5)$$

$$T = \frac{2\eta_M}{\eta_M + \eta_B} \quad (2.6)$$

де η_M і η_B — характеристичні імпеданси відповідно біоматеріалу та біотканини, які обчислюються за формулами:

$$\eta_M = \eta_0 / \sqrt{\tilde{\varepsilon}_M}, \quad \eta_B = \eta_0 / \sqrt{\tilde{\varepsilon}_B}, \quad (2.7)$$

$$\eta_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 120\pi \text{ (Ом)}.$$

де $\tilde{\varepsilon}_M$ і $\tilde{\varepsilon}_B$ — комплексні діелектричні проникності біоматеріалу та біотканини; $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$, а η_0 — характеристичний опір вакуума.

Якщо характеристичні імпеданси двох середовищ приблизно рівні, або якщо діелектричні проникності можна порівняти, то більша частина енергії передається до матеріалу, і відбите ЕМВ відносно мале. І навпаки, якщо внутрішні імпеданси значно відрізняються, або, якщо дуже відрізняються діелектричні проникності, ЕМВ, що пройшло до біоматеріалу мале, а відбите велике.

У формулах (2.6) та (2.7) використовується комплексні діелектричні проникності, оскільки, загалом слід вважати, що й в біоматеріалі, й в біотканині існують втрати енергії електромагнітної хвилі, оскільки вони мають властивості як діелектрика (характеризуються діелектричною проникністю ε), так і провідника (характеризуються питомою провідністю σ). Для біотканин людини це підтверджено результатами досліджень [7, 8].

Для ідеального діелектрика ($\sigma=0, \varepsilon=\text{const}$) плоска хвиля описується рівнянням

$$\dot{E}_m = \dot{E}_{0m} e^{-ik\sqrt{\varepsilon}r} = \dot{E}_{0m} e^{-i\frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon}r},$$

де E_m — миттєве значення напруженості електричного поля, E_{0m} — її комплексна амплітуда, r — відстань, яку пройшла хвиля у даному середовищі, $k = \omega/c$ — хвильове число.

Комплексні амплітуди напруженості магнітного H_m та електричного E_m зв'язані співвідношенням

$$\dot{H}_m = \frac{\dot{E}_m}{\eta} = \frac{\dot{E}_m}{120\pi} \sqrt{\varepsilon},$$

де $\eta = 120\pi/\sqrt{\varepsilon}$ — хвильовий опір середовища.

Перше рівняння Максвела для ідеального діелектрика запишеться як

$$\text{rot } \dot{\mathbf{H}} = i\omega\varepsilon_a \dot{\mathbf{E}},$$

а для середовища з втратами —

$$\text{rot } \dot{\mathbf{H}} = i\omega\varepsilon_a \dot{\mathbf{E}} + \sigma \dot{\mathbf{E}}.$$

Якщо ввести комплексну діелектричну проникність

$$\tilde{\varepsilon}_a = \varepsilon_a - i\frac{\sigma}{\omega}, \quad (2.8)$$

то отримаємо

$$\text{rot } \dot{\mathbf{H}} = i\omega\tilde{\varepsilon}_a \dot{\mathbf{E}}.$$

Тобто можна робити висновки щодо рівняння поширення хвиль у середовищі з втратами та без втрат подібні, якщо формально замінити в них ε_a на $\tilde{\varepsilon}_a$ (або ε на $\tilde{\varepsilon}$). Величину $\tilde{\varepsilon}_a$ можна представити як

$$\tilde{\varepsilon}_a = \varepsilon_a \left(1 - i\frac{\eta_0\sigma\lambda}{2\pi\varepsilon} \right), \quad (2.9)$$

де $\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0} = 120\pi$ Ом.

Величина $\eta_0 \sigma \lambda / 2\pi \varepsilon = \sigma / \omega \varepsilon_a$ має фізичний сенс відношення густини струмів провідності j_c до струмів зміщення j_d (оскільки $j_c = \sigma E$, а $j_d = \omega \varepsilon_a E$). Тому при $60 \sigma \lambda / \varepsilon \ll 1$ середовище наближається до діелектрика, а при $60 \sigma \lambda / \varepsilon \gg 1$ — до провідника.

Миттєве значення напруженості електричного поля при поширенні плоскої хвилі у середовищі з втратами

$$E_m = \dot{E}_{0m} e^{i\left(\omega t - \frac{\omega}{c} \sqrt{\tilde{\varepsilon}} r\right)}.$$

Позначаючи $(\omega/c) \sqrt{\tilde{\varepsilon}} r = \beta - i\alpha$, перепишемо (2.9) як

$$E_m = \dot{E}_{0m} e^{i(\omega t - \beta r) - \alpha r},$$

а (2.2) як —

$$\dot{H}_m = \frac{\dot{E}_m}{120\pi} \sqrt{\tilde{\varepsilon}} = \dot{E}_m \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{120\pi} \cdot \frac{c}{\omega} e^{-i\varphi},$$

де

$$\varphi = \arctg \frac{\alpha}{\beta}.$$

Отже видно, що складові електричного та магнітного поля зсунуті за фазою на кут φ . Величина α називається коефіцієнтом поглинання і характеризує втрати потужності ЕМВ. Величина β характеризує зміну фази хвилі, тобто швидкість поширення хвилі у даному середовищі.

Параметри α і β можна визначити через параметри середовища. Оскільки з одного боку

$$\tilde{\varepsilon} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 (\beta - i\alpha)^2, \quad (2.10)$$

а з іншого

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon \left(1 - i \frac{\eta_0 \sigma \lambda}{2\pi \varepsilon}\right), \quad (2.11)$$

то прирівнюючи дійсні та уявні складові правих частин (2.10) та (2.11) і розв'язуючи отримані рівняння, знайдемо

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\varepsilon}{2}} \sqrt{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\eta_0 \sigma \lambda}{2\pi \varepsilon}\right)^2}}, \quad (2.12)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\varepsilon}{2}} \sqrt{+1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\eta_0 \sigma \lambda}{2\pi \varepsilon}\right)^2}}, \quad (2.13)$$

Формули (2.12) і (2.13) у деяких випадках спрощуються.

У випадку коли втрати дуже малі, і середовище майже діелектричне ($\varepsilon \ll \eta_0 \sigma \lambda / 2\pi$), можна знехтувати у (2.13) другим доданком і розраховувати величину фазового коефіцієнта за формулою

$$\beta \approx \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\varepsilon},$$

а довжина хвилі у такому середовищі — як $\Lambda \approx \lambda / \sqrt{\varepsilon}$.

У формулі (2.12) до внутрішнього радикалу потрібно застосовувати граничний перехід, і для малих втрат можна користуватись формулою

$$\alpha \approx \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\varepsilon}{2}} \sqrt{-1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\eta_0 \sigma \lambda}{2\pi \varepsilon}\right)^2} = \frac{\eta_0 \sigma}{2\sqrt{\varepsilon}}.$$

У випадку, коли середовище майже провідник ($\varepsilon \gg \eta_0 \sigma \lambda / 2\pi$) в обох виразах (2.12) і (2.13) можна нехтувати одиницею у порівнянні з $\eta_0 \sigma \lambda / 2\pi \sqrt{\varepsilon}$, тоді

$$\alpha \approx \beta \approx \sqrt{\frac{\pi \eta_0 \sigma}{\lambda}},$$

а $\Lambda \approx \sqrt{\lambda / 30 \sigma}$.

Товщина скін-шару (Δ) — відстань, на якій амплітуда електричного поля зменшується в $e \approx 2,72$ раз. Для провідного середовища

$$\Delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\sigma \mu_0 \omega}}. \quad (2.17)$$

Для розрахунку діелектричної проникності можна використати програмне забезпечення [7]. Вимірювання було обрано проводити на частоті 52-53 ГГц.

Оскільки перевагою використання діапазону міліметрових хвиль є те, що через особливості їх поширення можна визначати характеристики теплового випромінювання, що створюється лише поверхневим шаром рідини без врахування впливу процесів, які відбуваються в об'ємі середовища, то в дм- та см-діапазонах вказані фактори необхідно враховувати. Крім того, вимірювальна апаратура цих діапазонів є більш габаритною.

Таким чином врахування особливостей мм-діапазону спрощує процес моделювання, а також експериментальні дослідження. Тому можна вважати, що випромінювання на вході приймальної антени РС, створюється лише скін-шаром об'єкту досліджень без впливу оточуючого середовища.

В даному розділі необхідно математично описати закони фізики та процеси, які при експериментальних дослідженнях допоможуть визначити коефіцієнт випромінювальної здатності.

Випромінювання — це процес розповсюдження внутрішньої енергії випромінюючого тіла електромагнітними коливаннями та фотонами. Будь-які тіла, температура яких вище абсолютного нуля, випромінюють електромагнітні коливання. Генераторами таких хвиль є заряджені матеріальні частинки — електрони та іони, які входять до складу речовини. Інтенсивність теплового випромінювання залежить від матеріалу і температури тіла, довжини хвилі, стану поверхні, а для газів ще від товщини шару і тиску. Зі збільшенням температури тіла енергія випромінювання збільшується, тому що збільшується внутрішня енергія тіла. На відміну від інших двох способів теплопередачі, потік променевої енергії передається, як від більш нагрітого тіла до менш нагрітого, так і навпаки. Кінцевим результатом такого впливу і буде кількість теплоти, що передалась випромінюванням.

У мм-діапазоні джерело випромінювання можна вважати майже пласким. Причому одна з його поверхонь знаходиться у тепловій рівновазі з глибинними

шарами досліджуваного середовища, а інша, що спрямована у бік антени, контактує з повітрям і є випромінюючою.

Для того, щоб визначити кількість енергії, що передається, або математично описати процес теплообміну випромінюванням, в сучасній фізиці існує кілька законів, які в цьому допоможуть. Розглянемо закон Кірхгофа. В законі йдеться про те, що відношення випромінюючої здатності любого тіла до його поглинаючої здатності однакове для всіх тіл при певній температурі для певної частоти, і не залежить від їх форми та хімічної природи. Відомо, що при падінні електромагнітного випромінювання на деяке тіло, частина його відбивається, частина поглинається, частина може проходити через тіло. Та частина випромінювання, яка поглинається на даній частоті називається поглинальною здатністю тіла $\alpha(\omega, T)$. Проте, кожне нагріте тіло випромінює енергію за законом $r(\omega, T)$, що називається випромінюючою здатністю тіла. Величина $\alpha(\omega, T)$ і $r(\omega, T)$ можуть значно змінюватись при переході від одного тіла до іншого, але, згідно закону Кірхгофа, відношення випромінюючої та поглинальної здатностей не залежить від природи тіла і є універсальною функцією частоти (довжини хвилі) і температури:

$$\frac{r(\omega, T)}{\alpha(\omega, T)} = f(\omega, T)$$

Реальні тіла мають поглинаючу здатність менше одиниці, значить, і меншу, ніж у абсолютно чорного тіла, випромінюючу здатність. Тіла, поглинаюча здатність яких не залежить від частоти, називаються сірими. Їх спектр має такий же вигляд, як і у абсолютно чорного тіла. В теоретичних дослідженнях для характеристики спектрального склад рівноважного теплового випромінювання зручніше користуватись функцією частоти $f(\omega, T)$. В експериментальних дослідах зручніше користуватись функцією довжини хвилі $\phi(\lambda, T)$. Обидві функції зв'язані між собою формулою:

$$f(\omega, T) = \frac{2\pi c}{\omega^2} \phi(\lambda, T) = \frac{\lambda^2}{2\pi c} \phi(\lambda, T)$$

Закон Стефана-Больцмана дає залежність енергії випромінювання з одиниці площі поверхні в одиницю час від ефективної температури тіла, що випромінює. Довести закон можна за допомогою формули Планка.

Інтенсивність випромінювання енергії абсолютно чорним тілом в залежності від частоти випромінювання визначається законом Планка як:

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1},$$

де $B(\nu, T)$ становить кількість випроміненої енергії з одиниці площі поверхні в одиницю часу в одиницю тілесного кута на частоті ν абсолютно чорним тілом з температурою T ; h – стала Планка; c – швидкість світла; k – стала Больцмана.

Потік випромінювання визначається через інтенсивність як $F(\nu, T) = \pi B(\nu, T)$. Відповідно, щоб визначити повну енергію випромінену на всіх частотах, потрібно проінтегрувати вираз для потоку випромінювання в межах всіх можливих значень частоти:

$$\begin{aligned} F(T) &= \int_0^\infty \pi B(\nu, T) d\nu = \int_0^\infty \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu \\ &= \frac{2\pi h}{c^2} \left(\frac{kT}{h}\right)^4 \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx, \end{aligned}$$

де виконано заміну змінної інтегрування $\nu = \frac{kTx}{h}$ й відповідно $d\nu = \frac{kT}{h} dx$.

Отриманий інтеграл є табличним й дорівнює $\frac{\pi^4}{15}$, тому:

$$F(T) = \frac{2h\pi^5}{15c^2} \left(\frac{kT}{h}\right)^4 = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4,$$

де σ – стала Стефана-Больцмана.

2.2 Дослідження глибини проникнення випромінювання

Використовуючи модель, представлену в п. 2.1 можна визначити коефіцієнт відбиття та проходження на частотах 50 і 60 ГГц для різних біотканин

людини, використовуючи (2.5), (2.6), (2.7) та дані, приведені в [7]. Біотканинами були обрані губчата кістка та м'яз.

Розрахунки наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 — Коефіцієнти відбиття та проходження

Назва коефіцієнта	Частота	
	f=50 ГГц	f=60 ГГц
Коефіцієнт відбиття Г	$-0,242+8,496 \cdot 10^{-4}i$	$-0,242+7,08 \cdot 10^{-4}i$
Коефіцієнт проходження Т	$0,758+8,496 \cdot 10^{-4}i$	$0,758+7,08 \cdot 10^{-4}i$

За результатами розрахунків отримали значення коефіцієнта відбиття для таких тканин як губчата кістка та м'яз, на частотах 50 ГГц та 60 ГГц і коефіцієнт проходження.

Таким чином в кожній тканині випромінювання складається із частини відбитого власного випромінювання та випромінювання контактуючого середовища. У випадку, коли діелектричні проникності розрізняються, задачі електромагнітної сумісності ускладнюються.

На рис. 2.2 зображено залежність відносної СЦПШ падаючої хвилі (p/p_0) та відстані від межі для кісткової губчастої тканини. СЦПШ розраховується за формулою

$$E_m = \dot{E}_{0m} e^{i(\omega t - \beta x) - \alpha x},$$

вважаючи що

$$\frac{p(x)}{p(x=0)} = \frac{|E_m(x)|^2}{|E_m(x=0)|^2} = \frac{|\dot{E}_{0m} e^{i(\omega t - \beta x) - \alpha x}|^2}{|\dot{E}_{0m} e^{i(\omega t - \beta \cdot 0) - \alpha \cdot 0}|^2} = e^{-2\alpha x},$$

З формули (2.10): $\alpha = \frac{1}{\Delta}$, а величину скін-шару Δ брати з [7].

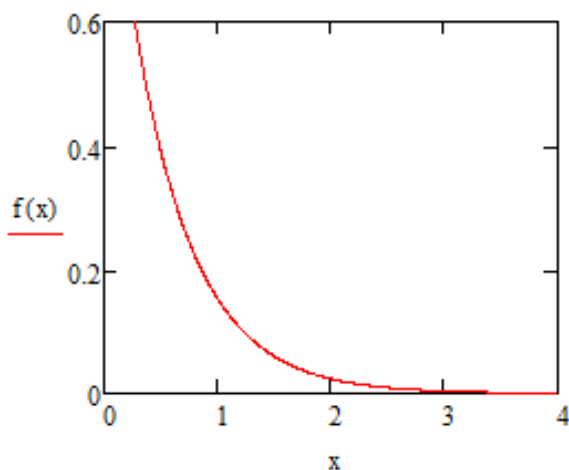


Рисунок 2.2 – Залежність СЩПШ та відстані від межі для губчастої тканини

Аналогічно, на рис.2.3, побудовано залежність для м'язової тканини.

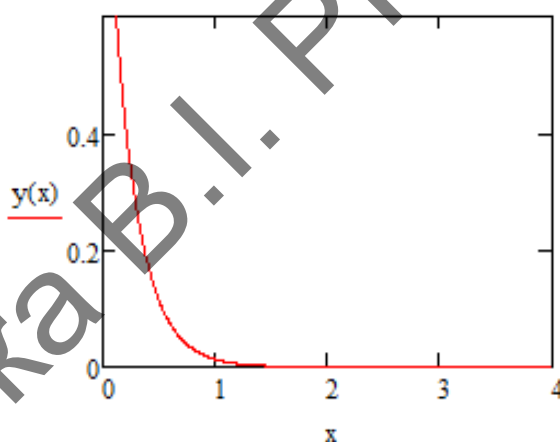


Рисунок 2.3 — Залежність СЩПШ та відстані від межі для м'язової тканини

Порівнюючи залежності СЩПШ двох біотканин, бачимо, що у випадку з м'язової тканиною, затухання відбувається сильніше, ніж у випадку з кістковою тканиною.

2.3 Оцінка чутливості радіометричного методу

Розглядаючи сумісність біоматеріалів та біотканин з електромагнітною ознакою, слід враховувати різноманіття перших ([1,2]) і достатню кількість

других. Наприклад, за допомогою калькулятора, приведений в [7], розраховані значення δ/Λ для 54 тканин людського організму на частоті 50 ГГц. І лише 3 з них характеризуються значенням $\delta/\Lambda=1-1,5$, ще для двох — 0,58 і 0,45, для інших ця величина лежить в межах від 0,27 до 0,4. Таким чином, можна вважати, що випромінювання 90% приведених тканин формуватиметься поверхневим шаром. Тому для оцінки чутливості метода скористаємось відомостями щодо електромагнітних властивостей розчинів у мікрохвильовому діапазоні.

В основі запропонованої моделі лежить припущення, що речовина біотканини складається у певній пропорції з двох компонент: сухого діелектрику (діелектрична проникність ε_1) та води (діелектрична проникність ε_2). Для двокомпонентного середовища, якщо частка води складає γ , діелектричну проникність ε можна визначити за рівнянням [8]

$$\gamma \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon} + (1 - \gamma) \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon} = 0$$

Якщо досліджуються м'яка тканина, або біоматеріал з великим вмістом води, то його діелектрична проникність в основному визначається величиною ε_B . Таким чином, можна вважати, що

$$\tilde{\varepsilon}_{1+2} = \tilde{\varepsilon}_2 = \varepsilon_2 \left(1 - i \frac{\eta_0 \sigma \lambda}{2\pi \varepsilon} \right) = \varepsilon'_2 - i\varepsilon''_2$$

Величини ε'_2 та ε''_2 , а також тангенс кута втрат $\tan \delta = \varepsilon''_2 / \varepsilon'_2$ залежать від частоти електромагнітних коливань та температури води [7]. Приведені результати досліджень авторів показують, що діелектрична проникність і, відповідно, товщина скін-шару мають значну частотну залежність. Проте оцінити товщину скін-шару δ простіше за допомогою програми, приведеної в [7].

Для умов досліджень, проведених у даній роботі (частоти $f = 52$ ГГц та температури $t = 40^\circ\text{C}$) вказані величини мають значення: $\varepsilon'_2 = 22$, $\varepsilon''_2 = 28$ і $\tan \delta \approx$

1,23. Крім того, для зазначеної частоти електропровідність дорівнювала: $\sigma = 49 \text{ См/м}$, а товщина поверхневого шару $\delta \approx 0,4 \text{ мм}$.

Таким чином, у мм-діапазоні джерело випромінювання можна вважати майже плоским. Причому одна з його поверхонь знаходиться у тепловій рівновазі з глибинними шарами досліджуваного середовища, а інша, що спрямована у бік антени, контактує з повітрям і є випромінюючою.

Подібна модель дозволяє обґрунтувати застосування радіометричного методу. В роботі це було перевірено на реакції гліколізу, щоб певною мірою врахувати СЦПШ нерівноважне ЕМВ p_{B0} , що представлено для біотканини в формулі (2.3) і було з'ясовано, чи достатньо чутливості РС для реєстрації потужності ЕМВ, що виділяється під час біохімічних процесів.

Оцінено зростання температури об'єкту, у ході біохімічного процесу: гліколізу (на прикладі молочнокислого бродіння). Значення енергії, що вивільняється під час такого процесу є відомим і досить великим. Цю величину з величиною порогу чутливості радіометра. Дану оцінку можна зробити, враховуючи результати досліджень, відомі з літературних джерел. Оскільки реєстрація ЕМВ проводилась у мм-діапазоні довжин хвиль, то поріг чутливості радіометричної системи складає приблизно $(1,5-3,0) \cdot 10^{-23} \text{ Вт/Гц}$ [9].

Відомо, що життєдіяльність мікроорганізмів, супроводжується аеробними (за участі вільного кисню) і анаеробними (без його участі) процесами, під час яких виділяється енергія, необхідна для їх розвитку. Причому частина цієї енергії перетворюється в теплове випромінювання, інтенсивність якого залежить від чисельності популяції мікроорганізмів, що спричиняють процеси бродіння [10]. Оцінимо дану величину. Відомо, що зазначений процес здійснюється за допомогою окисно-відновних перетворень і супроводжується виділенням енергії, кінцевим продуктом при якому виступає молочна кислота. В результаті реакції виділяється енергія $Q=218 \text{ кДж}$ на 1 моль глюкози ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

У процесі гліколізу 60% цієї енергії, тобто $\approx 130 \text{ кДж}$, перетворюється у теплову. Знаючи площу апертури приймальної антени радіометричної системи (

$S \approx 3 \text{ см}^2$) та величину скін-шару ($\Delta \approx 0,5 \text{ мм}$) можна оцінити об'єм шару, що випромінює прийняте ЕМВ

$$V = S \cdot \delta \approx 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

і його масу

$$m = \rho \cdot V \approx 0,6 \text{ г.}$$

Враховуючи долю глюкози у середовищі можна розрахувати її масу у випромінюючому шарі

$$m_{\Gamma} \approx 0,047 \cdot m \approx 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ г,}$$

що складає $1,6 \cdot 10^{-4}$ моля.

Таким чином, за термін бродіння (3-7 діб) у вигляді тепла розсіється енергія $Q \approx 20$ Дж. Знаючи таку величину можна розрахувати локальне зростання температури за формулою, яке було б за умовою абсолютної теплоізоляції випромінюючого шару,

$$\Delta T = \frac{Q}{cm},$$

де $c = 4,22 \cdot 10^3$ Дж/кг·К — питома теплоємність води, m — маса рідини (фактично води), ΔT — приріст температури.

Якщо припустити, що уся звільнена енергія перетворюється на випромінювання СЦПШ випромінювання отримаємо приріст температури

$$p = k \Delta T = k \frac{Q}{cm} \approx 6 \cdot 10^{-23} \text{ Вт/Гц,}$$

що перевищує значення порогу чутливості відомих радіометричних систем.

Висновки за розділом 2

Таким чином, існуючи радіометричні системи мм-діапазону здатні реєструвати власне випромінювання біооб'єктів, зокрема біотканин.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для експериментальної оцінки запропонованого методу було досліджено електромагнітні властивості 4 матеріалів, один з яких біологічного походження, а саме, інтенсивність власного випромінювання їх при температурі тіла людини.

Для цього було підготовано експериментальні зразки:

1 — мелена трубчата кістка. Контрольний зразок у даному досліді. Склад: органічні речовини (колаген) – 30%; неорганічні речовини (фосфати та карбонати Кальцію) – 60%; вода – 10%;

2 — глюконат кальцію;

3 — крейда. Склад: карбонат кальцію – 95%; карбонат магнію – 3%; оксиди металів – 2%;

4 — активоване вугілля. Склад: активоване вугілля – 96%; крохмаль картопляний – 2%; тальк – 2%.

Для вимірювання вказаних характеристик зразки розміщувались у мідній тарі в ближній зоні приймальної антени (рис.3.2 і рис.3.4).

Вибір експериментальних зразків проводився за такими вимогами: доступність у реалізації та достатня кількість теплової енергії, що утворюється під час даного процесу.

Всі чотири види зразків були доведені до порошкового стану. До початку вимірювань вони попередньо знаходились в термостаті ТС-80М-2 протягом 2 годин, при температурі 37°C ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$).

Для вимірювання власного випромінювання та відбиття зразки розміщувались в ближній зоні приймальної антени на термоізоляційному матеріалі. Вимірювання проводились протягом 5-10с, за допомогою РС та панорамного вимірювача КСХН та послаблень Р2-69.

Всі вимірювання проводились в лабораторії кафедри Конструювання і виробництво радіоапаратури Радіотехнічного факультету.

3.1 Визначення електромагнітних параметрів біоматеріалів та біотканин для малих рівнів потужності

Лабораторна установка для вимірювань інтенсивності складається з радіометричної системи, генератора мікрохвильового випромінювання (з порогом чутливості $P = 10^{-10}$ Вт), спрямованого відгалужувача, рупорної антени (рис. 3.1).

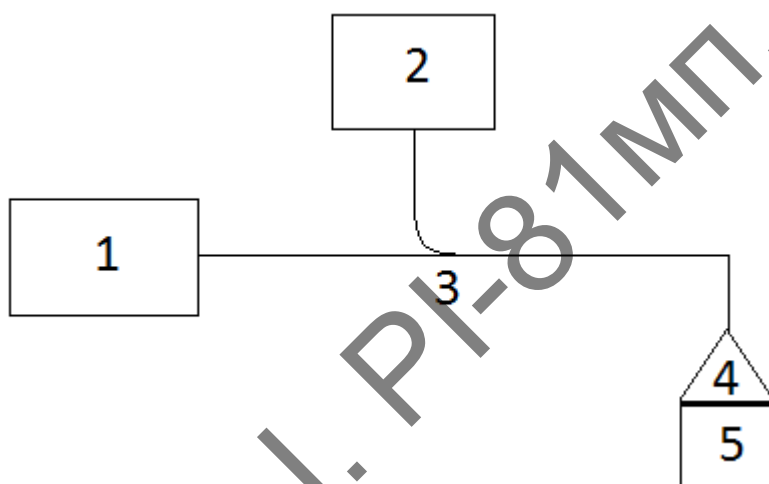


Рисунок 3.1 — Блок-схема вимірювання інтенсивності власного випромінювання та коефіцієнта відбиття експериментальних зразків: 1 – радіометрична система; 2 – генератор мікрохвильового випромінювання; 3 – спрямований відгалужувач; 4 – антена; 5 – експериментальний зразок.

На рис. 3.2 приведено зовнішній вигляд вхідної частини експериментальної установки.

На рис. 3.3 приведено функціональна схема даної високочутливої радіометричної системи міліметрового діапазону. Джерелом сигналу X тут є досліджуваний об'єкт або генератор еталонного шуму (еталонне джерело).

Система функціонує таким чином. В результаті перемикання її входу за допомогою електрично керованого, за допомогою генератора прямокутних імпульсів $G1$, модулятора $U1$, вхідний сигнал, що створюється на вході системи,

має амплітудну модуляцію. Вибір частоти модуляції є принциповим, оскільки від нього залежить ефективність роботи системи.

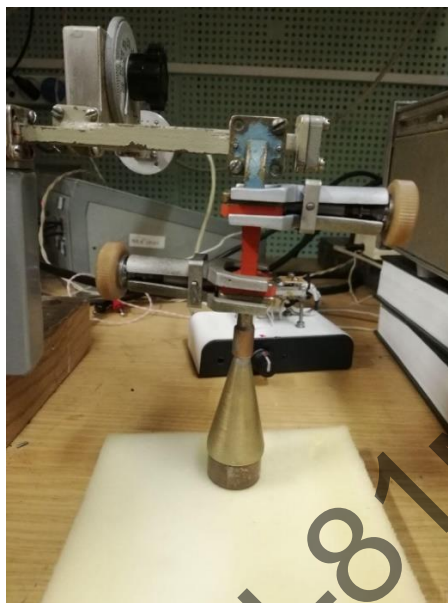


Рисунок 3.2 — Лабораторна установка для вимірювання інтенсивності власного випромінювання та коефіцієнта відбиття експериментальних зразків.

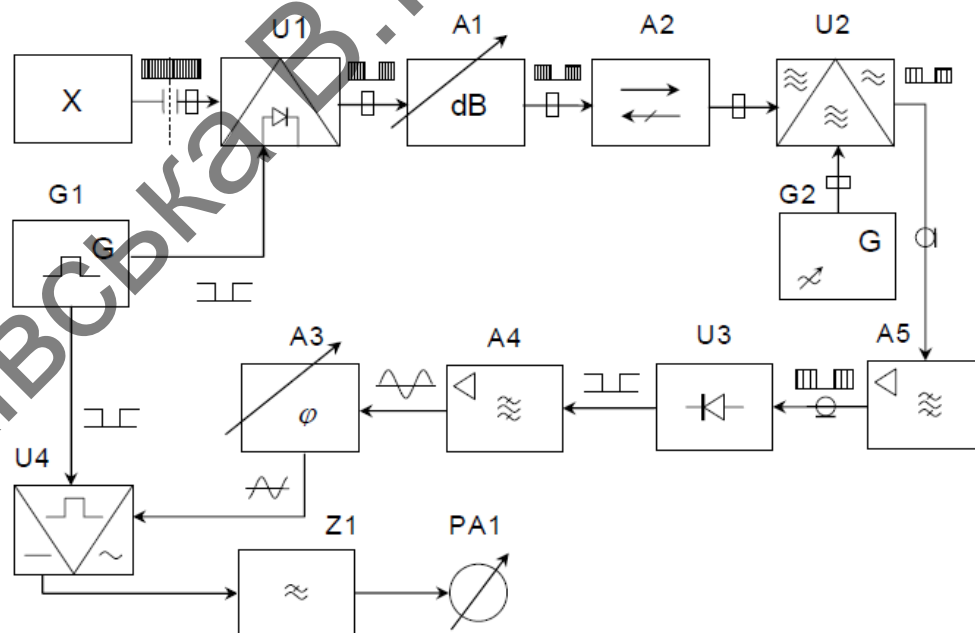


Рисунок 3.3 — Функціональна схема модуляційного радіометра

Модуляційний радіометр містить: U1 – електрично керований НВЧ-модулятор; A1 – прецизійний атенюатор; A2 – феритовий вентиль; U2 –

перетворювач частоти; G1 – генератор прямокутних імпульсів; G2 – генератор синусоїдальних НВЧ-сигналів (гетеродин); A3 – підсилювач проміжної частоти; U3 – квадратичний детектор; A4 – біквадратний смуговий фільтр; A5 – підсилювач проміжної частоти; U4 – синхронний детектор; Z1 – фільтр низьких частот; PA1 – вольтметр; X – джерело сигналу.

Частота модулятора вибирається досить високою, щоб за один період коефіцієнт підсилення не міг значно змінитися. З літератури відомо, що оптимальною є частота 1 кГц (див., наприклад, [12]). Глибина модуляції залежить від різниці прийнятого і еталонного сигналу. Поляризаційний змінний атенюатор *A1* послаблює вхідний сигнал до потрібного рівня, у разі когось перевищення. Низькочастотна модуляція сигналу зберігається і після квадратичного детектування. З виходу атенюатора *A1* надвисокочастотний сигнал надходить на один з виходів перетворювача *U2*, а на другий вихід якого поступає сигнал гетеродина *G2*. Феритовий вентиль *A2* служить для забезпечення електродинамічної розв'язки перетворювача з вхідним трактом радіометричної системи. Спеціальний підсилювач *A5* після детектування детектором *U3* виділяє корисний сигнал з частотою модуляції та зменшує складові, обумовлені флікер-шумом, які створюються після квадратичного перетворення. Потім сигнал на частоті модуляції через біквадратний фільтр *A4* та фазообертач *A3* подається на синхронний детектор *U4*, керований напругою того ж генератора опорної напруги, який в свою чергу, керує роботою модулятора на вході системи. На виході синхронного детектора створюється напруга, пропорційна різниці сигналів, перший з яких пропорційний СЦПШ сумі корисного сигналу та власних шумів системи, а другий – СЦПШ тільки власних шумів системи. Як інтегратор використовується ФНЧ *Z1*, що визначає кінцеву смугу пропускання (або постійну часу), яка поступає на вхід вольтметра *PA1*.

В залежності від відстані до антени, оточуючий простір розділяють на ближню зону та зону випромінювання. Межа віддаленої зони проходить на

відстані $R=2D^2/\lambda$, де D – найбільший розмір антени. Близня зона може бути розділена на дві частини: область випромінювання та реактивна область. В першій, розташованій ближче, ніж $2D^2/\lambda$ до джерела, потужність випромінювання швидко змінюється, в залежності від відстані до антени. Область поблизу антени, де переважають реактивні складові, відома як реактивна область. Закон зміни поля від відстані залежить від типу антени. Для більшості антен, межа переходу між цими областями знаходиться на відстані $(0,2...0,4) 2D^2/\lambda$. Поле у віддаленій зоні має вигляд плоскої хвилі не залежно від конфігурації випромінювача. Електричні та магнітні поля зв'язані через повний опір середовища.

Вимірювання ЕМВ проводились в ближній зоні з метою забезпечення екранування входу антени від зовнішніх завад. Антена мала безпосередній електричний контакт з металевою тарою зразків. Поля в ближній зоні, поблизу БО, мають наступні властивості:

- 1) ВЧ електричні та магнітні поля розділені та не однорідні;
- 2) Хвильовий опір змінюється від точки до точки;
- 3) Ширина випромінювання антени менша, порівняно з головою або тілом людини;
- 4) Вплив електричного поля більш слабкий, через те, що діелектрична проникність тканини відносно велика.

Вимірювання випромінювальної та поглинальної здатностей проводилось на частоті 52 ГГц.

Перед проведенням вимірювань проводилось градуювання РС за допомогою еталонного генератора. Результати калібрування приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність вихідної напруги РС від інтенсивності вхідного сигналу

U, В	0,970	0,870	0,725	0,615	0,525	0,397	0,380	0,320	0,315	0,293	0,315	0,315
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

I, Вт/см ² ·10 ⁻¹³	0,394	0,312	0,248	0,196	0,155	0,124	0,098	0,078	0,062	0,049	0,04	0,031
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

Під час проведення градування вважалось, що смуга, у якій аналізується сигнал радіометром, складала 170 МГц, а його вхідна АЧХ мала рівномірний розподіл.

Результати вимірювання випромінювальної здатності дослідних зразків наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Випромінювальна здатність дослідних зразків

Номер дослідного зразка	Середнє значення напруги вихідного індикатора U, В	Інтенсивність I, 10 ⁻¹³ ·Вт/см ²
1	0,55-0,6	0,493
2	0,45	0,383
3	0,1-0,15	0,102
4	0,55-0,6	0,493

З результатів дослідів, бачимо, що активоване вугілля найближче до кістки за рівнем власного випромінювання. Тобто, вони мають найкращу електромагнітну сумісність, у той час, як крейда, має найгіршу, серед експериментальних зразків, електромагнітну сумісність з кісткою.

Поглиналина здатність визначається на малих потужностях, за рівнем відбитого сигналу від зразка. Перед початком вимірювання проводилось калібрування експериментальної установки у режимі повного відбиття. Рівень відбиття якого вважався за нульовий. Далі визначався рівень відбитої

потужності у децибелах відносно нульового рівня A' і визначався коефіцієнт відбиття з потужності. За рахунок отриманих значень розраховуємо коефіцієнт відбиття, та фіксуємо результат до таблиці, за формулами:

$$|\Gamma_p| = \frac{1}{10^{0,1A}};$$

Таблиця 3.3 – Поглинальна здатність експериментальних зразків

Назва тканини	A, дБ	Γ_p
1	4,3	0,372
2	3	0,501
3	0,7	0,851
4	9	0,126

З отриманих результатів, бачимо, що за поглинальною здатністю, до кістки найближчим є глюконат кальцію, а найгіршим – крейда.

Таким чином, для визначення електромагнітної сумісності важливим є не тільки рівень власного випромінювання, а й рівень поглинальної здатності.

Визначимо коефіцієнт кореляції між рівнем випромінювання та поглинальної здатністю за формулою:

$$r_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^4 (I_i - I_c)(\Gamma_i - \Gamma_c)}{\sqrt{\sum_{i=1}^4 (I_i - I_c)^2 \sum_{i=1}^4 (\Gamma_i - \Gamma_c)^2}} \quad (3.1)$$

де I_c , Γ_c – середні значення параметрів I та Γ .

Підставивши у формулу (3.1) значення з табл.2 і табл.3 отримуємо:

$$r_{\Gamma 1} = -0,933.$$

Достатньо великий модуль коефіцієнта кореляції дозволяє зробити висновок, що між випромінювальною та поглинальною здатністю біооб'єктів є

залежність. Матеріали та тканини, не лише випромінюють електромагнітні хвилі, а й поглинають певну частину енергії.

3.2 Вимірювання коефіцієнта відбиття експериментальних зразків

Вимірювання, що проводилось на РС, передбачає значну технічність складності застосованої апаратури та високу кваліфікацію, тому визначення коефіцієнта відбиття проводилось на стандартному вимірювачі КСХН Р2-62.

Лабораторна установка в даному випадку складається з: 1 – панорамний вимірювач КСХН Р2-62; 2 – індикатор; 3 – Р2-69; 4,5 – детекторні головки; 6,7 – спрямований відгалужувач; 8 – антена; 9 – дослідний зразок. (рис. 3.4).

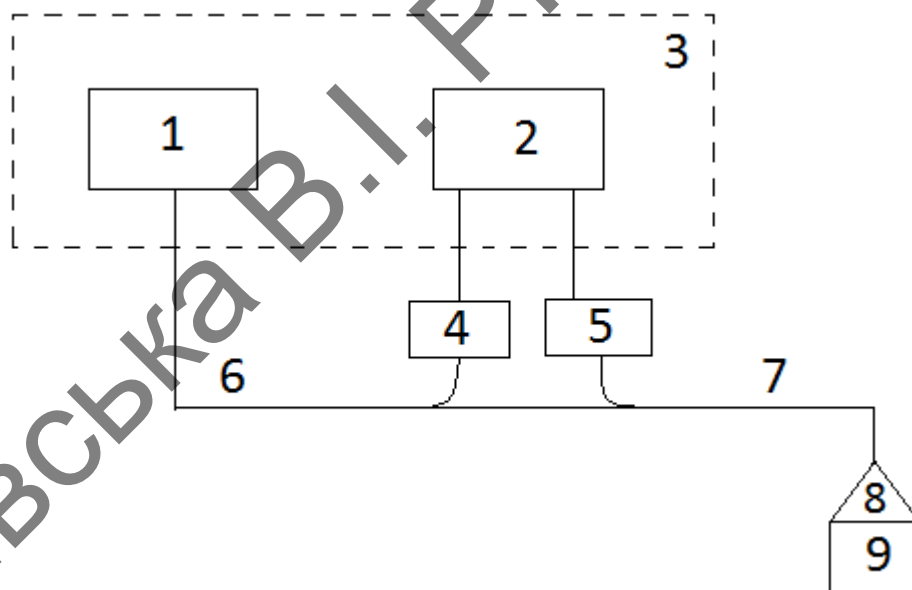


Рисунок 3.4 — Блок-схема установки вимірювання КСХН дослідних зразків.

Зовнішній вигляд входної частини установки приведено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 — Установка вимірювання КСХН експериментальних зразків

Вимірювання проводилось на частотах 52 ГГц та 53 ГГц. Для подальших розрахунків брали їх середнє значення. Результати фіксуються до таблиці 3.3. Для розрахунку коефіцієнта відбиття використовуються формули:

$$|\Gamma| = \frac{КСХН - 1}{КСХН + 1},$$

$$|\Gamma_p| = |\Gamma|^2.$$

Таблиця 3.3 — КСХН та коефіцієнт відбиття експериментальних зразків

Номер зразка	Інтенсивність I , $\text{Вт/см}^2 \cdot 10^{-8}$	КСХН ($f=52$ ГГц)	КСХН ($f=53$ ГГц)	$КСХН_{\text{ср}}$ p	Зображення сигналу	Γ	Γ_p
--------------	--	--------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------	----------	------------

1	0,493	1,6	2,1	1,85		0,29 8	0,08 9
2	0,383	4,5	2,7	3,6		0,56 5	0,31 9
3	0,102	5	5,8	5,4		0,68 8	0,47 3
4	0,493	1,65	1,6	1,625		0,23 8	0,05 7

Калі- брува -ння	—	4,5	6,3	5,4		0,68 8	0,47 3
------------------------	---	-----	-----	-----	--	-----------	-----------

Визначимо за формулою (3.1) коефіцієнт кореляції між інтенсивністю I , з табл. 3.1, та коефіцієнтом відбиття Γ , з табл. 3.3 і отримуємо значення:

$$r_{\Gamma 2} = -0,939.$$

Порівнюючи високі значення коефіцієнта кореляції, можна зробити висновок, що рівень поглинальної здатності можна визначати за допомогою установки Р2-62.

Таким чином можливість використання даного методу можна проводити за допомогою установки на базі Р2-69, блок-схема якого представлена на рис. 3.4, і визначати біосумісність біоматеріалів та біотканин за значенням КСХН.

Висновки за розділом 3

Проведена експериментальна перевірка запропонованого методу з використанням чотирьох експериментальних зразків. Отримані результати показують можливість застосування радіометричного методу визначення сумісності біоматеріалів та біотканин.

Визначено коефіцієнти кореляції між інтенсивністю власного випромінювання вказаних зразків та їх поглинальною здатністю на малому ($10^{-12} \dots 10^{-11}$ Вт/см²) та великому ($10^{-4} \dots 10^{-3}$ Вт/см²) рівнях інтенсивності опромінюючого сигналу. Вони відповідно складають -0,93 та -0,94.

Отже електромагнітну біосумісність можна визначати за допомогою установки на базі Р2-69, блок-схема якого представлена на рис. 3.4, і визначати біосумісність біоматеріалів та біотканин за значенням КСХН, використовуючи стандартну апаратуру мм-діапазону.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основною метою даного розділу є забезпечення комфортних та безпечних умов праці при виконанні науково-дослідної роботи за темою магістерської дисертації – радіометричний метод визначення сумісності біоматеріалів та біотканин.

Оскільки, при виконанні науково-дослідної роботи в лабораторному стенді використовуються джерела електромагнітного випромінювання вихідною потужністю не більше 10 мВт, то питання захисту персоналу від негативної дії цих випромінювань не розглядається.

В даному розділі запропоновані технічні рішення, та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії і визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Основана увага приділена питанню забезпечення безпеки при застосуванні засобів обчислювальної техніки.

4.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи

В магістерській дисертації досліджується власне мікрохвильове випромінювання, що утворюється під час протікання біохімічної реакції. Для цього використовується високочутлива радіометрична система, а знятий сигнал проходить через програмно-апаратний тракт обробки. Отриманий сигнал обробляється в середовищі MatLab.

Оскільки основу роботи складають дослідження із використанням електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), а також лабораторного устаткування, існує небезпека ураження електричним струмом. Під час експериментальних досліджень можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання. Має місце також пожежна небезпека з причин електричного характеру.

Небезпечні та шкідливі фактори при проведенні наукових досліджень:

- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ;
- недостатня освітленість робочого місця;
- незадовільні параметри мікроклімату у робочій зоні;
- підвищений рівень шуму.

4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Електробезпека.

Приміщення лабораторії, що розглядається, знаходиться в будівлі з 4-х провідною 3-х фазною електромережею із зануленням. Температура в робочому приміщенні не перевищує $+30^{\circ}\text{C}$, а вологість повітря не перевищує 60%. Також відсутнє хімічно активне середовище, що руйнує ізоляцію та електричні матеріали або струмопровідний пил. У приміщенні можливий одночасний дотик людини до корпусів електрообладнання і до заземлених металоконструкцій будівлі. Таким чином, згідно з ПУЕ, умови приміщення за рівнем електробезпеки можна віднести до приміщень з підвищеним рівнем електробезпеки.

Електроустаткування, що використовується в дослідницькій роботі, живиться від мережі напругою до 220 В. Воно належить до класів I та II за електрозахистом (ДСТУ ІЕС 61140:2015). Апаратура для визначення характеристик досліджуваних зразків відноситься до I класу за електрозахистом, тобто трьохпровідний шнур з нульовим проводом. Провід для під'єднання до джерела живлення має заземлюючу жилу і вилку із заземлюючим контактом.

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання можливе доторкання до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. Оцінка небезпеки дотику до струмоведучих частин полягає у визначенні сили струму, що протікає через тіло людини, і порівнянні її із допустимим значенням відповідно до ПУЕ-2017. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення

електроустаткування до електромережі, роду і величини напруги живлення, схеми включення.

Таблиця 1.2 – Гранично допустимі значення напруги дотику

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	Від 1,0 до 5,0
$U_{1\text{доп.дот}}$ (В)	500	400	200	130	100	65

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Основними причинами ураження людей електричним струмом є доторкання до відкритих струмоведучих частин, до струмопровідних елементів обладнання, які виявилися під напругою в результаті порушення ізоляції. Нижче наведені групи технічних рішень щодо запобігання електротравм згідно ПУЕ. «Правила улаштування електроустановок. Розділ 1 Загальні правила. Гл.1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки»:

- технічні рішення із запобігання електротравм від контакту із нормально струмоведучими елементами електрообладнання: надійна ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування; застосування закритих клемових з'єднань; розведення електромережі в приміщеннях у каналах стін;
- технічні рішення щодо запобігання електротравм при переході напруги на електропровідні нормально не струмовідні елементи устаткування (аварійний режим роботи електрообладнання, наприклад, пробій робочої ізоляції): занулення, тобто навмисне електричне з'єднання нормально не струмоведучих елементів електроустаткування із заземленою нейтраллю електромережі за допомогою нульового дроту і автоматичне вимкнення живлення. При аварійному режимі спрацьовує захист від короткого

замикання (автомат максимального струмового захисту чи плавкий запобіжник) і пошкоджене електрообладнання відключається від електромережі.

Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання.

Виконаємо розрахунок електромережі на вимикаючу здатність при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна знайти за формулою:

$$I_{kz} = \frac{U_F}{R_0 + R_F + Z_{TR}}, \quad (4.4)$$

де $U_F = 220V$ — напруга фазного проводу; $R_0 = 30\Omega$ — опір нульового проводу; $R_F = 70\Omega$ — опір фазного проводу; $Z_{TR} = 0,1\Omega$ — еквівалентний опір трансформатора. Після обрахунку (4.4) отримаємо, що $I_{kz} = 21,78A$.

Для надійного спрацювання автомату струмового захисту з електромагнітним розпилювачем його струм повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання ($I_{kz} < 100A$).

Отже, струм спрацювання автомату повинен бути менше 15,6 А. Цим умовам відповідають автомати струмового захисту, що встановлені у робочому приміщенні (струм спрацювання 10 А і час спрацювання $< 0,1$ с).

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при його аварійному режимі роботи:

$$U_{K_{max}} = I_{kz} \cdot R_0 = 21,78 \cdot 3 = 65,3V \quad (4.5)$$

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-88 (табл. 5.1) максимально допустима напруга дотику при часі спрацювання автомату струмового захисту $< 0,1$ с дорівнює 500В.

4.2.2 Мікроклімат робочої зони

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042-99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях»,

приміщення обладнане системою опалення, а також системою кондиціювання повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» параметри мікроклімату, що нормуються: температура ($t, ^\circ\text{C}$) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, \text{м/с}$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3 — Параметри мікроклімату

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

4.2.3 Виробниче освітлення

Для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці суттєвим є забезпечення норм освітленості на робочому місці. Величина освітленості регламентується нормами ДБН В.2.5-28-2018. Приміщення з ЕОМ, відповідно до ДБН В.2.5–28–2018. «Природне і штучне освітлення. Норми проектування», відноситься до класу кабінетів інформатики та обчислювальної техніки. Розряд і підрозряд зорової роботи Б-2.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5-28-2018. Для загального освітлення використовують головним чином люмінесцентні лампи, що обумовлено їхніми перевагами. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C}, \quad (4.6)$$

де Φ — світловий потік; E — нормована мінімальна освітленість; K — коефіцієнт запасу; S — освітлювана площа; Z — коефіцієнт нерівномірності освітлення; C — коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі; N — число світильників.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 визначаємо норму освітленості.

$$E = 300 \text{ лк}; K = 1,4; S = 6,4 \cdot 4 = 25,6 \text{ м}^2; Z = 1,2.$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається по формулі:

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}, \quad (4.7)$$

Найбільш прийнятними для приміщення є люмінесцентні лампи ЛД (денного світла) потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік лампи ЛД-40 дорівнює $\Phi=2340$ люмен (лм). Величиною i , індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення і висоти підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.8)$$

де $A=5\text{м}$ — довжина приміщення; $B=4\text{м}$ — ширина приміщення; h — висота підвісу.

$$h = H - h_p - h_c, \quad (4.9)$$

де $H=2,75\text{ м}$ — висота приміщення; $h_p=0,8\text{ м}$ — висота робочої поверхні; $h_c=0,4\text{ м}$ — висота від стелі до нижньої частини лампи.

При обчисленні виходить $h=1,55\text{м}$, а $i=1,58$.

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C=0,3$.

У підсумку число світильників виходить рівним $N=1,84$

Для штучного освітлення в робочому приміщенні достатньо використати 2 люмінесцентні лампи денного світла ЛД 40, зі світловим потоком $\Phi=2340$ лм кожна.

Освітленість робочого приміщення де проводиться науково-дослідна робота відповідає нормам вказаним у ДБН В.2.5-28-2006.

4.2.4 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проекті і характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкопasmового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Програміст обчислювальної машини	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального

комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел (ШХ):

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Оскільки рівні звуку потенційних джерел шуму нижчі допустимих, умови робочого приміщення відповідають вимогам вказаним у ДСН 3.3.6.037-99.

4.2.5 Організація робочих місць користувачів ВДТ ЕОМ

Вимоги до робочого місця робіт з використанням ЕОМ регламентує нормативний документ ДСанПіН 3.3.2.007-98 та ДСТУ ISO 9241-62004 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища.»

Конструкція робочого столу відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Дисплей розташований на оптимальній відстані від очей користувача з урахуванням розміру літерно-цифрових знаків і символів. Розташування дисплея забезпечує зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом $+30^{\circ}$ до нормальної лінії погляду працюючого. Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. У конструкції клавіатури передбачений опорний пристрій, який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах $5...15^{\circ}$. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Працівники з ЕОМ підлягають обов'язковим попереднім медичним оглядам під час влаштування на роботу і періодичним – один раз на два роки комісією у складі терапевта, невропатолога та офтальмолога. Медогляди мають

на меті перевірку стану здоров'я працівника і виявлення відсутності у нього медичних протипоказань, які перешкоджають виконанню роботи з ПК.

Згідно з ДСТУ 1241:6-2004 та ДСанПіН 3.3.2.007-98 характер трудової діяльності відповідає роботі оператора електронно-обчислювальних машин – роботі, яка пов'язана з обліком інформації одержаної з дисплея за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується як робота з напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі.

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 15 хвилин через кожні дві години роботи.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС («Положенням щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій»). Одними з основних складових ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дії виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.

4.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1-7-2016 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва".

При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщування з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з

урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2016.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;
- зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщення.

Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I – (найвищий) повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II – повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III – службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей.

У багатоповерхових виробничих будівлях, які поділені на протипожежні відсіки по вертикалі, СО повинна вмикатися одразу для всього протипожежного

відсіку, де виникла пожежа. Затримку часу оповіщення про НС для інших вертикальних протипожежних відсіків будинку слід передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації.

Для трансляції мовних повідомлень необхідно використовувати повідомлення, які записані заздалегідь на відповідному носії інформації.

Текст мовного повідомлення повинен бути записаний українською мовою. Необхідність запису тексту мовного повідомлення та його транслювання іншими мовами визначається призначенням виробничих приміщень. Тривалість трансляції одного мовного повідомлення не повинна перевищувати 1 хвилини.

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56-2014.

У місцях, де є небезпека механічного ушкодження оповіщувачів, повинен бути забезпечений їх захист, що не порушує працездатності оповіщувачів.

Вимоги до світлових показників "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

Вимоги до евакуаційного освітлення приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Природне та штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правила устрою електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Мовні оповіщувачі повинні відтворювати нормально чутні частоти у діапазоні від 200 до 5000 Гц. Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах

від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

4.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив, повинен:

- 1) негайно повідомити про це службою зв'язку органів ДСНС, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- 2) повідомити про пожежу керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- 3) організувати оповіщення людей про НС;
- 4) вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- 5) вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні :

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС;
- організувати зустріч підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

4.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1.-36:2016 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії по пожежонебезпеці - П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

- постійний контроль стану засобів пожежогасіння;
- застосування автоматичних установок пожежної сигналізації;
- організація за допомогою технічних засобів, включаючи автоматичні, своєчасного оповіщення та евакуації людей.
- контроль за станом ізоляції струмоведучих дротів;
- заборонено паління в приміщенні;
- неприпустимість знаходження у приміщенні горючих і вибухонебезпечних речовин;
- допуск до роботи осіб, які в установленому порядку пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з пожежної безпеки.

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е”- наявність електрообладнання під напругою) використовуються вогнегасники ОП-1 — “Момент” (2 шт.). Додатково в коридорі розташовані вогнегасники ОХП-10. Також на сходовій клітці розташований пожежний кран. Така кількість первинних засобів пожежогасіння відповідає вимогам ДСТУ 3675-98 та ISO3941-2007, якими передбачене обов'язкова наявність двох вогнегасників до 100 м² площі підлоги для приміщення типу конструкторське бюро.

Будинок має два евакуаційних виходів: через головнийхід і додатковий евакуаційний вихід. Шляхи евакуації відповідають установленим нормам. Двері відкриваються назовні. Коридор веде до двох сходових кліток, одна з яких виходить безпосередньо на вулицю, а друга має вихід на вулицю через вестибюль і головний вхід. Сходова клітка виконана з не палих матеріалів. Сходи мають природне бічне освітлення і штучне евакуаційне освітлення. Сходові площадки ширше коридорів. Усі співробітники ознайомлені з планом евакуації.

Дотримано усі вимоги СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в табл.4.5.

Таблиця 4.5 — Характеристики і норми еваковиходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	0,8 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	2 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходового маршу	1,2 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

У приміщенні є план евакуації. Мінімальний час евакуації в разі виникнення пожежі відповідає вимогам СНиП 2.01.02-85, а максимальне видалення робочих місць від евакуаційних виходів вимогам СНиП 2.09.02-85.

У приміщенні виконуються усі вимоги по пожежній безпеці відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

4.3.4 Основні вимоги щодо плану евакуації при пожежі

В даному підрозділі розглянемо план евакуації при пожежі, адже це одне з найнебезпечніших НС, яке може трапитись під час виробничого процесу.

Захист людей у разі пожежі є найважливішим завданням усієї системи протипожежного захисту. Вирішення цього завдання, в першу чергу, потребує впровадження ефективних евакуаційних заходів на випадок виникнення пожежі. Вирішення цього завдання досить складне, оскільки має власну специфіку та здійснюється іншими шляхами, ніж захист будівельних конструкцій чи матеріальних цінностей.

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

- першого поверху безпосередньо назовні або через вестибюль, коридор, сходову клітку;
- будь якого поверху, крім першого, у коридор, що веде на внутрішню сходову клітку або безпосередньо на зовнішні відкриті сходи;
- у сусіднє приміщення на тому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними у попередніх пунктах;
- цокольного, підвального, підземного поверху назовні безпосередньо через сходову клітку або коридор, що веде на сходову клітку, яка має вихід назовні.

Текстова частина плану евакуації, яка представляє собою таблицю з переліком та послідовністю дій у разі пожежі для конкретних посадових осіб і працівників, затверджується керівником об'єкту. План евакуації необхідно розташовувати на видному місці, а його положення повинні систематично відпрацьовуватись на практиці.

Також дуже важливо забезпечити протидимний захист робочих приміщень і особливо шляхів евакуації людей. Протидимний захист забезпечується обмеженням розповсюдження продуктів горіння по будівлях та приміщеннях, примусовим видаленням диму. Ці задачі вирішуються за допомогою об'ємно-планувальних та конструктивних рішень при проектуванні об'єктів, деякими технологічними прийомами в процесі будівництва, завдяки використанню

спеціальних пристроїв і вентиляційних систем, які призначені для видалення диму зниження температури і конденсації продуктів горіння.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У даному розділі проведено техніко-економічне обґрунтування використання радіометричного методу у технологічних процесах виробництва. Визначено потенційний ринок та конкурентоспроможність устаткування, що використовує даний метод. Проведено аналіз можливих шляхів фінансування.

1.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу проаналізовано зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основі вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Засіб і метод, за допомогою якого можна оцінювати рівень сумісності біоматеріалів та біотканин, відслідковувати рівень електромагнітного випромінювання біооб'єктів.	Контроль протікання різноманітних фізичних та біохімічних процесів у біооб'єктах.	Оперативність та неінвазивність дослідження.
	Дослідження характеристик поверхневих шарів різноманітних біологічних об'єктів за нерівноважним випромінюванням.	Точність та оперативність визначення стану об'єкту.
	У медицині, під час виготовлення імплантів та біосенсорів.	Безконтактний та оперативний метод визначення

		оптимального матеріалу, який матиме біологічну сумісність з організмом.
--	--	---

Кожний виробник має власні лабораторії досліджень на базі підприємства, де проводиться аналіз проб, взятих на виробництві. Тому конкурентами є виробники існуючих засобів для проведення таких досліджень.

Таблиця 5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1	Витратні матеріали					✓
2	Розміри					✓
3	Швидкодія					✓
4	Трудомісткість виготовлення			✓		
5	Калібрування				✓	

1.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можлива обробка отриманих даних з радіометричної системи.

Для обробки даних потрібно обрати пакет програмного забезпечення:

1. MATLAB - пакет прикладних програм для числового аналізу.
2. Microsoft Office Excel — програма для роботи з електронними таблицями, створена корпорацією Microsoft.

3. Розробити програмне забезпечення самостійно.

Таблиця 5.3 Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її ре- алізації	Наявність технології	Доступність технології
1		MatLab	Так	Так
2		Microsoft Excel	Так	Так
3		Розробити програмне забезпечення самостійно.	Ні	Ні
Обрана технологія: MatLab				

Обробку даних можливо реалізувати у програмному забезпеченні Matlab через наявність у автора проекту знань у мові програмування, що використовується в даному пакеті.

1.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час впровадження проекту, та загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення таких можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Невідомо
2	Загальний обсяг продаж, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає

4	Наявність обмежень для входу	Невідома
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідома

За результатами аналізу важливо зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенційні групи клієнтів.

Таблиця 5.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності поведінки різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Безконтактний та оперативний метод контролю та реєстрації електромагнітного випромінювання біооб'єктів.	Механіки та інженери, які займаються виготовленням імплантів, інженери, які займаються розробкою біосенсорів.	Невідомі	Дослідження властивостей різних матеріалів, та підбір оптимального варіанту для конкретного випадку.

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 5.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Поява безконтактних методів контролю на ринку	Впровадження нового методу дослідження процесів на виробництві, аналогічного до розроблюваного у цьому проекті	Конкуренція

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Нові функціональні можливості у проекті що розробляється	Додавання нових методів та можливостей у проект, що розроблюється	Розробка засобів що реалізують запропоновані функціональні можливості методу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 5.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції - монополістична	Багато підприємств, що використовують	Значний

	однотипні методи контролю	
За рівнем конкурентної боротьби – локальний	Підприємства розташовані у одній країні	Значний
За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в рамках однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів – невідомо		
За характером конкурентних переваг – цінова		Значний
За інтенсивністю – невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 5.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Підприємства, що виробляють радіометричну апаратуру	Інститути, що проводять розробки на цю тематику	Невідомо	Невідомо	Невідомо

Висновки	Можлива конкуренція на ринку	Існує можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо
----------	------------------------------	----------------------------------	----------	----------	----------

За результатами аналізу можна зробити висновок, що виходити на ринок можна, але можлива конкуренція з боку прямих конкурентів. Для того, щоб зацікавити клієнтів, продукт має більше відповідати їх цілям.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності

Таблиця 5.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Витратні матеріали	Система багаторазового використання
2	Розміри	Система дозволяє просте переміщення
3	Швидкодія	Отримання інформації про зразки відбувається безпосередньо під час проведення вимірювань
4	Трудомісткість виготовлення	Апаратура складна у виготовленні
5	Градуювання	Потрібно проводити періодичне градування апаратури

Таблиця 5.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Витратні матеріали Розміри Швидкодія	Слабкі сторони: Невідомий виробник Відсутність стартового капіталу
Можливості:	Загрози: Апарати-замінники

Розширення можливостей Нові методи	функціональних	
--	----------------	--

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

5.1 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Механіки та інженери, які займаються виготовленням імплантів, інженери, які займаються розробкою біосенсорів.	Готові	Високий	У сегменті є конкуренція	Важко
Які цільові групи обрано: механіки та інженери, які займаються виготовленням імплантів, інженери, які займаються розробкою біосенсорів.					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Розміри, витратні матеріали, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкуренту?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Ні	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

5.2 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 5.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
----------	---------	-------------------------------	---

1	Безконтактний та оперативний метод контролю та реєстрації електромагнітного випромінювання біооб'єктів.	Точність та оперативність та неінвазивність дослідження.	Розміри, витратні матеріали, швидкодія
---	---	--	--

Таблиця 5.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Контроль протікання різноманітних фізичних та біохімічних процесів у біооб'єктах
2. Товар у реальному виконанні	Властивості: 1. Витратні матеріали 2. Розміри 3. Швидкодія 4. Трудомісткість виготовлення 5. Градування
	Якість: проведення експериментальних досліджень
	Пакування: відсутнє
	Марка: відсутня
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності).

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 5.20 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі
-------	--------------------------------	------------------------------	--	----------------------

				встановлення ціни на товар
1	200 – 800 тис. грн.	Невідомий	Високий	10 – 100 тис. грн.

Визначимо оптимальну систему збуту

Таблиця 5.21 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Зберігання, встановлення контакту, інформування	Невідома	Зовнішня служба збуту та дистрибуція

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій

Таблиця 5.22 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, інші джерела інформації	Можливості приладу	Донести про функціонал та можливості приладу	Донесення про можливості та сильні стороні розробки

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки наявний попит та ріст ринку. Перспективи впровадження є позитивними, споживачі готові до сприймання нового продукту.

Подальша імплементація проекту буде доцільною, після організації потокового виробництва.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

ВИСНОВКИ

1. В сучасній медицині та біосенсорах мікросистем використовується широкий спектр матеріалів, які знаходяться у контакті з біотканинами протягом довготривалого періоду. Існує комплекс вимог, спрямований на зменшення негативного впливу на біотканини з боку матеріалів, де передбачено різноманітні аспекти їх взаємодії. Проте не враховується чинник електромагнітного поля, що є важливим для мм-діапазону, оскільки таке випромінювання, навіть дуже низької інтенсивності (10^{-13} – 10^{-9} Вт/см²), здатне впливати на біопроцеси.

2. Як показав аналітичний огляд, джерелом вказаного випромінювання можуть бути і біотканина, і біоматеріал, які мають температуру людського організму. Тому їх взаємний вплив можна оцінювати за співвідношенням інтенсивностей їх власного випромінювання, рівні яких можна визначити методом мікрохвильової радіометрії.

2. Запропоновано радіометричний метод визначення сумісності біоматеріалу та біотканини, суть якого полягає у вимірюванні та порівнянні значень інтенсивностей їх власного випромінювання в мм-діапазоні. Апаратним забезпеченням методу є радіометрична система мм-діапазону, що має поріг чутливості (10^{-14} – 10^{-13} Вт/см²) та похибку вимірювань не більше 20%.

3. Розроблена математична модель дозволяє досить точно описувати процеси поширення електромагнітного випромінювання мм-діапазону в двошаровому середовищі «матеріал — біотканина» і оцінювати співвідношення між випроміненою та поглинутою електромагнітною енергією. Доведено, що інтенсивність власного випромінювання біоматеріалу має бути не нижчою за інтенсивність біотканини.

4. Проведена експериментальна перевірка представленого методу, за результатами якої визначено коефіцієнти кореляції між інтенсивністю власного випромінювання експериментальних зразків та їх поглинальною здатністю на малому (10^{-12} ... 10^{-11} Вт/см²) та великому (10^{-4} ... 10^{-3} Вт/см²) рівнях інтенсивності

опромінюючого сигналу. Вони відповідно складають -0,87 та -0,90. Тому електромагнітну біосумісність можна визначати використовуючи стандартну апаратуру мм-діапазону.

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Хенч Л. Биоматериалы, искусственные органы и инженеринг тканей / Л. Хенч, Д. Джонс ; [перевод с англ. Ю. Л. Цвирко]. – М.: Техносфера, 2007. – 304 с.
2. Полимеры в биологии и медицине / Под ред. Майка Дженкинса; [перевод с англ. О. И. Киселева]. – М.: Научный мир, 2011. – 256 с.
3. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др.] ; под общ. ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир, 2003. – 408с.
4. Ситько С.П. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины / С.П. Ситько, Ю.А. Скрипник, А.Ф. Яненко ; под общ. ред. С.П. Ситько. – К. : ФАДА, ЛТД, 1999. – 199 с.
5. Бецкий О.В. Миллиметровые волны и живые системы / О.В. Бецкий, В.В. Кислов, Н.Н. Лебедева. — М.: Сайенс-Пресс, 2004. — 272 с.
6. Алмазов-Долженко К. И. Коэффициент шума и его использование на СВЧ / К. И. Алмазов-Долженко. — М. : Научный мир, 2000. — 240 с.
7. Calculation of the Dielectric Properties of Body Tissues in the frequency range 10 Hz-100 GHz [Электронный ресурс].// Режим доступа до докумен-та: <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.htm>.
8. Gabriel C. C. Dielectric Properties of Biological Tissues; Variation With Age/ C. Gabriel, A. Peyman; в кн. Conn's Handbook of Models for Human Aging (Second Edition); под ред.: Jeffrey L. Ram, P. Michael Conn. — Academic Press, 2018.— 1218 p. (C. 939-952).
9. Skou D. M. Microwave Radiometer Systems Design and Analysis Niels /Skou D. M., Le Vine. — Artech House, 2006 — p. 222.
10. Ситько С. П. Фундаментальные проблемы биологии с позиции квантовой физики живого // Физика живого. – Т. 9, № 2. – 2001. – С. 5-17.
11. Баринов С.М. Биокерамика на основе фосфатов кальция / С.М. Баринов, В.С. Комелев. – Москва: Наука, 2005. – 202 с.

12. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др.] ; под общ. ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир, 2003. – 408с.

13. Ситько С.П., Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину // К.: “Паттерн.” – 1994. – 146 с.

14. Андреев Е. О., Білий М. У., Сітько С. П. Прояв власних характеристичних частот людського організму // Док. АН УРСР. – Сер. Б. – 1984. – № 10. – С. 56-59.

15. Петросян В. И., Гуляев Ю. В., Житенева Э. А., Елкин В. А., Синицын Н. И. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона // Радиотехника и электроника. – Т. 40, Вып. 1. – 1995. – С. 28-34.

16. Пути создания эндопротеза тазобедренного сустава нового поколения/ О.А. Розенберг, Н.В. Новиков, А.Н. Косяков [и др.] // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – №5. – С. 190 – 208.

17. Сафронова Т.В. Медицинское неорганическое материаловедение в России: кальцийфосфатные материалы / Т.В. Сафронова, В.И. Путляев // Наносистемы: физика, химия и математика. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО. – 2013. – № 4 (1). – С. 24 – 27.

18. Гаврилов, В.М. Применение электромагнитных полей СВЧ в медицине и биологии: учеб.пособие / Под ред. О.Р. Никитина. – Владим. гос. ун-т. Владимир, 2001. – 139 с.

19. Клеточно-молекулярные аспекты иммунологической совместимости имплантатов с наноструктурным кальцийфосфатным покрытием / И.А. Хлусов, М.А. Сурменева, Р.А. Сурменев [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – Новосибирск: Издательство СО РАН. – 2012. – № 4. – С. 78 – 85.

20. А. Скрипник Ю.О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: навч. посіб. / Ю.О. Скрипник, В.П. Манойлов, О.П. Яненко; за ред. В.П. Манойлова. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 374 с.

21. Михайлов В.Ф. Микроволновая спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли: Учеб. Пособие / Михайлов В.Ф., Брагин И.В., Брагин С.И. – СПбГУАП. СПб., 2003. – 404с., ISBN 5-8088-0081-1.

22. Парк Дж., Маккей С., Райт Э. Передача данных в системах контроля и управления: практическое руководство / Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт ; [перевод с англ. В.В. Савельева]. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 480 с.: ил., табл.

23. Хульцебош Ю. USB в электронике: Пер с нем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 224 с.: с ил. ISBN 978-5-9775-0324-2

24. Yury Skripnik, Aleksandr Krasuk, Vyacheslav Manoylov, Sergey Peregudov, Aleksey Yanenko. Increased accuracy of measurement of high-sensitivity mm-range radiometric equipment intended for medical-biological application // Proceedings of 10th IMEKO TC7 International Symposium. June, 30-July, 2 2004. Saint-Petersburg, Russia. – Saint-Petersburg. – 2004, – P. 143-148.

ДОДАТОК А

ПОГОДЖЕНО

керівник магістерської
дисертації

к.т.н., доц. Перегудов С. М.

(підпис) (дата)

ЗАТВЕРДЖЕНО

завідувач кафедри
радіоконструювання та виробництва
радіоапаратури

д.т.н., проф. Нелін Є. А.

(підпис) (дата)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ

“РАДІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СУМІСНОСТІ
БІОМАТЕРІАЛІВ ТА БІОТКАНИН”

1 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання роботи є завдання на магістерську дисертацію.

2 Мета і призначення

Мета роботи: дослідження можливості застосування радіометричного методу для оцінки власного електромагнітного випромінювання біотканин та їх електромагнітної сумісності.

Об'єкт дослідження: електромагнітні властивості біотканин.

Предмет дослідження: рівень власного електромагнітного випромінювання біотканин.

3 Вихідні дані для проведення роботи

Основні джерела:

1. Nanzer Jeffrey A. Human Presence Detection Using Millimeter-Wave Radiometry / Jeffrey A. Nanzer, Robert L. Rogers. – IEEE Transactions on microwave theory and techniques. Vol.55.no.12. pp. 2727-2733. Dec.2007.

2. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др.]; под общ. ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир, 2003. – 408с.

3. Яненко А.Ф., Перегудов С.Н., Головчанская А.Д., Красюк А.Д. Электромагнитная идентификация стоматологических материалов // 20-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь, 13-17 сентября 2010 г. Материалы конференции. Том 2 – Севастополь.– 2010. – С. 1133-1135.

4. Яненко А.Ф., Перегудов С.Н., Головчанская А.Д. Электромагнитная идентификация диэлектрических материалов // Вісник НТТУ "КПІ". Серія "Радіотехніка. Радіоапаратобудування." – 2010. – Вип. 42.– С. 115-122.

4 Вимоги до виконання

1. Виконати аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації.
2. Оцінити рівень потужності власного електромагнітного випромінювання від кількості біотканин та порівняти отримані результати з відомими даними з літератури.
3. Розробити математичну модель, яка відображає рівень власного електромагнітного випромінювання біотканин.
4. Обґрунтувати та розробити радіометричний метод оцінки електромагнітної сумісності біотканин.
5. Провести експериментальне дослідження та оцінити вірогідність розробленого методу.

5 Етапи та термін виконання

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації
1	Підбір джерел за темою дисертації	12.2018
2	Аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації	04.2018
3	Розробка ТЗ	06.2019
4	Вибір моделі власного випромінювання біотканин та поглинання зовнішнього випромінювання	09.2019
5	Розробка методу оцінки рівня власного випромінювання біотканин та їх електромагнітної сумісності	10.2019
6	Експериментальне дослідження процесів електромагнітного випромінювання та поглинання біотканинами та біоматеріалами	11.2019
7	Оформлення магістерської дисертації	12.2019
8	Підготовка до захисту та отримання допуску до захисту та подача роботи в ЕК	12.2019

6 Очікувані результати та порядок реалізації

6.1 Математична модель для оцінки рівня власного електромагнітного випромінювання біотканин та поглинання ними зовнішнього випромінювання.

6.2 Метод оцінки рівня власного випромінювання та електромагнітної сумісності біотканин.

6.3 Результати оцінки вірогідності розробленого методу.

6.4 Висновки за результатами виконаної роботи.

7 Матеріали які подаються після закінчення дисертації

7.1 Завдання на магістерську дисертацію.

7.2 Технічне завдання.

7.3 Пояснювальна записка.

7.4 Презентація.

8 Порядок приймання дисертації та її етапів

8.1 Поетапне узгодження з керівником.

8.2 Представлення кафедри.

8.3 Попередній захист магістерської дисертації.

8.4 Захист дисертації перед екзаменаційною комісією.

9 Вимоги до розроблення документації

9.1 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.

9.2 ДСТУ 3973-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення.

10 Орієнтовний зміст дисертації

10.1 Аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації.

10.2 Моделювання випромінювання та поглинання біотканинами електромагнітних хвиль.

10.3 Обґрунтування методу оцінки рівня власного випромінювання біотканин та їх електромагнітної сумісності.

10.4 Результати експериментальних досліджень та оцінка вірогідності розробленого методу.

Виконавець _____

Войцехівська В.І. РІ-81МП, 2019

ДОДАТОК Б

РАДІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ
ВИПРОМІНЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ БІОСЕНСОРІВ

Перегудов С. М., к.т.н., доц. ; Войцехівська В. І., магістрант

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Радіометричні методи дослідження властивостей фізичних та біологічних об'єктів широко застосовуються в багатьох сферах науки і техніки. Особлива увага надається проведенню таких досліджень у міліметровому діапазоні довжин хвиль, оскільки випромінювання у даній частині електромагнітного спектру може суттєво впливати на живі організми. З іншого боку, біоб'єкти самі є джерелами подібного випромінювання [1]. Останніми роками у біомедичній галузі використовуються різноманітні матеріали, які можуть знаходитись у тривалому контакті з живими тканинами та мікроорганізмами. Зокрема, така ситуація притаманна чутливому елементу біосенсо-рів, які є різновидом хімічних сенсорів, принцип дії яких має біохімічну при-роду. Як правило, складаються із двох перетворювачів: біохімічного та фі-зичного. Перший виконує функцію розпізнавання, перетворюючи інформа-цію про хімічні зв'язки у певний фізичний сигнал. Задача фізичного пере-творювача зареєструвати цей сигнал за допомогою спеціального облад-нання. Чутливим елементом біосенсора може бути субстанція, що містить ферменти, бактерії, рецептори, тканини, антитіла, ДНК, і яка здатна реагу-вати на присутність певного компоненту в біооб'єті, що досліджується. А первинний сигнал залежить від їх концентрації.

В процесі виготовлення чутливих елементів використовується широкий спектр матеріалів (метали, кераміка, полімери та біокомпозити), а також покриття на їх основі. Їх задачею є підвищення чутливості біосенсора та забезпечення біосумісності його з живим організмом. Існує досить велика кількість показників, які характеризують таку сумісність [2]. Проте жоден з них не враховує теплове електромагнітне випромінювання чутливого елемента та

досліджуваного об'єкту, що, на наш погляд доцільно робити, звертаючи увагу на результати досліджень впливу електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону на біологічні об'єкти [1]. Оскільки матеріал чутливого елемента біосенсора знаходиться у тривалому контакті з біотканиною живого організму або субстанцією з мікроорганізмами, то може порушуватись баланс між випромінюванням та поглинанням хвиль у тон-кому контактному шарі, зокрема у міліметровому діапазоні. У свою чергу це може порушити термодинамічну рівновагу та спотворити біологічні процеси у зазначеній області. Тому оцінка рівню теплового електромагнітного випромінювання матеріалів біосенсора є актуальною задачею.

Інструментом для такої оцінки може бути радіометричний приймач. Проте важливим його параметром є чутливість оскільки йдеться про низько інтенсивне випромінювання. Для сучасної апаратури такого класу поріг чутливості для спектральної щільності потужності шуму (СЩПШ) сягає $10^{-21} \dots 10^{-22}$ Вт/Гц·см² [1]. Тому доцільно визначити рівень випромінювання як матеріалів біосенсора, так і біотканин.

Слід вважати, що таке випромінювання в біооб'єктах у міліметровому діапазоні здійснюється лише поверхневим шаром через великий відсоток води, що містить практично будь-який живий організм. рідини без врахування процесів, які протікають в об'ємі середовища, саме тому всі дослідження проводяться в мм-діапазоні хвиль.

Радіометрична система вимірює надлишкову СЩПШ, яка є різницею між СЩПШ сигналу, що поступає на вхід приймальної антени (p), та власних шумів системи (p_{pc}). Величину СЩПШ можна визначити за законом Планка для теплового електромагнітного випромінювання

$$p = \frac{hf}{\exp\left(\frac{hf}{kT_0}\right) - 1} + \frac{1}{2}hf, \quad (1)$$

де: f – частота випромінювання, h – стала Планка, k – стала Больцмана, $T_0=313$ K – початкова температура об'єкту спостереження.

Якщо припустити, що приріст температури набагато менший за T_0 та температури системи T_{pc} , то надлишкова СЦПШ визначається як

$$\Delta p = p - p_{pc} = hf \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{k(T_0 + \Delta T)}\right) - 1} - \frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{kT_{pc}}\right) - 1} \right) \quad (2)$$

Для міліметрового діапазону ($hf/kT_0 \ll 1$) замість (2) переходить у формулу Найквіста

$$\Delta p = k\Delta T, \quad (3)$$

де: Δp – надлишкова СЦПШ, що обумовлена приростом температури у контактному шарі.

В процесі досліджень проведено аналіз можливого значення надлишкової СЦПШ, яка може спостерігатись для екзотермічних біохімічних реакцій. Зокрема для реакції бродіння величина СЦПШ, розрахована за формулою (3) у 3-4 рази перевищує поріг чутливості радіометричної системи.

Це дозволяє стверджувати про можливість використання такої апаратури для оцінки власного електромагнітного випромінювання біоматеріалів та біотканин і застосовувати радіометричний метод для оцінки їх біосумісності.

При проектуванні та розробці чутливих елементів біосенсорів слід оцінювати різні властивості біоматеріалів, у тому числі, випромінювальну здатність, що дозволить отримувати більш точну інформацію про властивості живих організмів.

Перелік посилань

1. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др.]; под общ. ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир, 2003. – 408с.

2. Полимеры в биологии и медицине/ Под ред. М. Дженкинса // Пер. с англ. О. И. Киселева. – М. : Научный мир, 2011. – 256 с.

Анотація

В наш час радіометричні методи дослідження широко використовуються в багатьох сферах життя, зокрема і в медицині. При розробці біомедичної апаратури необхідно звернути увагу на хімічні реакції, біологічну та фізичну сумісність біооб'єктів, які в подальшому будуть взаємодіяти між собою. Описаний, в даній роботі, метод, дозволяє швидше оцінити біосумісність досліджуваних біоматеріалів, за рахунок реєстрації антеною радіометричної системи надлишкового СЦПШ.

Ключові слова: біосумісність, біооб'єкт, радіометричний метод, випромінювальна здатність.

Аннотация

В настоящее время радиометрические методы исследования широко используются во многих сферах жизни, в том числе и в медицине. При разработке биомедицинской аппаратуры необходимо обратить внимание на химические реакции, биологическую и физическую совместимость биообъектов, которые в дальнейшем будут взаимодействовать между собой. Описанный, в данной работе, метод, позволяет быстрее оценить биосовместимость исследуемых биоматериалов, за счет регистрации антенной радиометричной системы избыточного СПМШ.

Ключевые слова: биосовместимость, биообъект, радиометрический метод, излучательная способность.

Abstract

Nowadays radiometric research methods are widely used in many spheres of life, including medicine. When developing biomedical equipment, it is necessary to pay attention to chemical reactions, biological and physical compatibility of biological objects, which will interact in the future. The method described in this paper makes it possible to evaluate the biocompatibility of the tested biomaterials faster, by registering the antenna of the surplus SDNP system with the antenna.

Keywords: biocompatibility, bioobject, radiometric method, emissivity.