

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний  
Кафедра загальної та теоретичної фізики

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: Вплив телекомунікаційних мереж на стан екологічної  
безпеки довкілля(сучасний стан та прогноз на майбутнє)

Виконав студент 4 року навчання  
групи ТЗ-42і  
спеціальності 183 «Технології  
захисту навколишнього  
середовища»  
Лісньовський Артем  
Геннадійович  
Керівник д.ф.-м. н., професор  
Герасимов Олег Іванович  
Рецензент к.ф.-м.н. доц.  
Худинцев Миколай Миколайович

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний  
Кафедра загальної та теоретичної фізики  
Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність Напрямок підготовки 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри загальної**  
**та теоретичної фізики,**  
**професор Герасимов О.І.**

5\_ травня\_2021 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студенту(ці) Лісньовському Артему Геннадійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив телекомунікаційних мереж на стан екологічної безпеки довкілля(сучасний стан та прогноз на майбутнє)

керівник роботи Герасимов Олег Іванович д.ф-м.н, проф.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "18" грудня 2020 року  
№ 254 – «С»

2.Строк подання студентом роботи 14.06.2021

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Детально проаналізувати техніку обрахунку параметрів розсіяння хвиль на безструктурних силових центрах сконфігурованих у низько вимірні ланцюги.

2.Знайти розвязки керуючих рівнянь розсіяння на одновимірних ланцюгах силових центрів,які містять одне,або бінарне включення(домішки) у вигляді коефіцієнтів проходження та відбиття і проаналізувати їх поведінку в залежності від хвильового числа та параметру асиметрії(відношення розмірів частинок ланцюга і домішок).

3.Кваліфікувати знайдене явище існування полоси пропускання системи з двома домішками при завданих значеннях хвильового числа і параметра асиметрії(ефект типу Рамзауера-Таунсенда).

4.Запропонувати технологію хвильового моніторингу неоднорідностей та дефектів,а також сенсорного захисту,які базуються на закономірностях знайденого явища.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Немає		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 05.05.2021\_р \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Огляд базових літературних джерел за темою дипломного проекту	04.05.-	65	3 (задовільно)
		06.05.21		
2	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	07.05.-	65	3 (задовільно)
		10.05.21		
3	Рубіжна атестація	11-	65	3 (задовільно)
		15.05.21р		
4	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення електронної версії роботи. Перевірка на плагіат. Складання протоколу та авторського договору	16.05-	65	3 (задовільно)
		31.05.21		
5	Підготовка паперової версії і презентаційного матеріалу до процедури предзахисту. Внесення коректив. Рецензування роботи. Підготовка до публічного захисту.	02.06-	65	3 (задовільно)
		19.06.21		
		18.06.2021		
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		65	3 (задовільно)

Студент \_\_\_\_\_ Лісньовський А.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Герасимов О.І.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Лісньовський А.Г. «Вплив телекомунікаційних мереж на стан екологічної безпеки довкілля(сучасний стан та прогноз на майбутнє)»**

**Мета :** Дослідження електромагнітної складової і комунікаційних систем. Оцінка впливу таких систем на біологічні системи.

**Задачі дослідження.**

- охарактеризувати взаємодію електромагнітного поля на тканини
- аналіз 5G зв'язку і міліметрового діапазону ;
- Аналіз 6G зв'язку;
- дослідження впливу терагерцевого діапазону

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження являється організм схожий з параметрами людині.

**Предмет дослідженнях.** Терагерцевий діапазон а в частоті міліметровий і субміліметровий .

**Методи дослідження.** Научні роботи, дисертації і зміти медичних організацій, висновки з дисертацій і лабораторних досліджень.

Робота містить:

Сторінок- 37

Рисунків- 9

Літературних посилань – 15

**Ключові слова:** електромагнітне поле, міліметровий діапазон , субміліметровий діапазон , міжнародна комісія по захисту від неіонізуючого випромінювання ICNIRP.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ..	8
1.1 Електричні властивості біологічних тканин.....	10
2 5G ТЕХНОЛОГІЇ.....	17
2.1 Міжнародна комісія по захисту від неіонізуючого випромінювання іспір.....	18
2.2 Біологічні ефекти впливу міліметрового і субміліметровий вимірювання.....	22
3 6G ТЕХНОЛОГІЇ.....	29
3.1 Характер відгуку на клітковому рівні при впливу террегерцового діапазону.....	31
3.2 Особливістю впливу субміліметрового діапазону на елементи крові.....	32
ВИСНОВКИ.....	35
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	36

## ВСТУП

До природного електромагнітного поля додалися нові види антропогенних електромагнітних полів. Телекомунікаційні мережі є основними антропогенними електромагнітними полями.

В сучасному світі людині не можливо відказатися від пристроїв які генерують електромагнітне випромінювання, використовують у всіх сферах. Прикладом являється телефони. Представляють компактні пристрої всебічного використання, робочий діапазон 900/1800 МГц.

Для характеристик рівня випромінювання телефонів на території України є спеціальні норматив – це щільність потоку енергії який становить  $100 \text{ мкВт/см}^2$ . З появою антропогенного електромагнітного випромінювання з'явилась проблема біологічної електромагнітної сумісності, вплив джерел і забруднення живої природи.

В сучасному світі технології розвиваються дуже швидко. Моя мета дослідити новітні технології як 5G які зараз використовуються в повсякденному житті як вони впливають на організм. І дослідити найновітніші технології які ще не запроваджені ні в одній країні світу 6G. В частоті вплив терагерцевого діапазону на біологічні об'єкти.

## 1 ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Під дією електричного поля в середовищі, яку за своїми властивостями як електричними так і магнітними схожу з тканинами живих організмів. У них також є електроліти які мають слабу діамагнітні або парамагнітні властивості і електричною поляризацією. В них відбувається поляризація, зміщення зв'язаних зарядів і виникає орієнтація молекул, які володіють постійний дипольний момент, це молекули води і білкові молекули.

Магнітостатичне поле визиває орієнтацію діамагнітних і парамагнітних молекул. А на рухливих електричних зарядів діє з силою:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{VH} \quad (1.1)$$

В навколишньому середовищі під дією змінних електромагнітного поля будить відбуватися процеси 2 типів: коливання вільних зарядів і повороти вільних молекул відповідно з частотою зміни ЕМП. Середовище має свій опір і в'язкість, ці процеси зв'язані з втратами енергії ЕМП. В першому випадку - втрата провідності, а в другому - діелектрична втрата. Величина втрати енергії ЕМП залежить від електричних параметрів - удільної електричної провідності і діелектричної проникливості, також залежить від частоти ЕМП [1].

Відповідність між втратами провідності і діелектричними втратами виражають через тангенс кута втрат  $\text{tg}\delta$ , або комплексної діелектричної проникності  $\epsilon$ . Величини зв'язані між собою в співвідношенні:

$$\text{tg}\delta = \frac{G}{\omega\epsilon'\epsilon_0}; \epsilon = (\epsilon' - j\epsilon'')\epsilon_0 \quad (2) \quad (1.2)$$



Де  $\varepsilon''$  - коефіцієнт втрат и  $G$  – активна провідність . Середовище вважають провідною тоді коли  $\text{tg}\delta \gg 1$ , діелектричною якщо  $\text{tg}\delta \ll 1$ , напівпровідну  $\text{tg}\delta \approx 1$ .

Величина  $\varepsilon$  змінюється з частотою , як і будь яка поляризація зв'язана з перехідними релаксаційними процесами. Процеси заряду і розряду відбуваються не миттєво , а за деякий час – час релаксації  $\tau$  , який залежить від структури поляризуючих електричних елементів, в'язкості середовища і її температури. Зв'язок виражають :

$$\varepsilon' = \varepsilon'_0 + \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty}{1 + (\omega\tau)^2}; \varepsilon'' = \frac{[(\varepsilon')'_s - \varepsilon'_\infty] \omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad (1.3)$$

$$G = G_s + \frac{(G_\infty - G_s)(\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad (2) \quad (1.4)$$

Де індекс  $s$  характеризує значення при дуже низьких частотах, а індекс  $\infty$  дуже високих.

Перший тип релаксації молекул , вододіючий постійним дипольним моментом, рівняння називається рівнянням Дебая,  $\tau$  визначається в'язкістю середовища  $\eta$  , радіусом молекули  $a$  і абсолютною температурою  $T$  [1].

Другий типа релаксації відноситься до неоднорідної структури – суспензії сферичних частин з діелектричною проникливістю  $\varepsilon'_i$  і провідністю  $G_i$  , займаючи в розчині  $\varepsilon'_a$  и  $G_a$  долю об'єму, рівну «Р».

Третій тип релаксації зв'язаний з поляризацією на границі розділу при наявності в середовищі, містять іони, частинок різного розміру з поверхневими електричними зарядами. Максимум діелектричних втрат настає, коли частота ЕМП збігається з характеристичною частотою релаксації:

$$\omega_x = \frac{1}{\tau} \quad (5). \quad (1.5)$$

### 1.1 Електричні властивості біологічних тканин

Дисперсія діелектричної проникливості в різних діапазонах частот зв'язані з будовою біологічної тканини. Дисперсія відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{er}$  – тканини з високим вмістом води (як у м'язовій тканині) в діапазоні від 10 Гц до 30 ГГц. Вона представлена на Рис. 1, на графіку видно 3 області дисперсії об означені  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

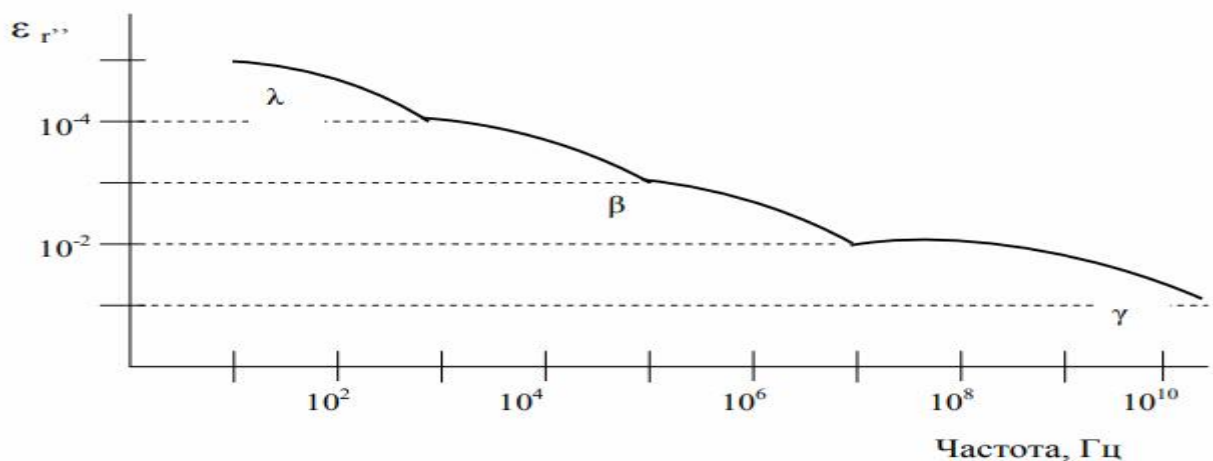


Рис. 1.1 - Частотна область дисперсії

Дисперсія  $\alpha$  знаходиться на нижньому краю діапазону частот, 100 Гц. В цьому діапазоні значення проникливості  $\epsilon_{er} \approx 10^5$ . Для забезпечення дисперсії застосовують ефект переносу через кліткову мембрану і релаксацію іонів атмосфери навколо кожної клітини. Частинки заряджені завдяки іонам які знаходяться в них, а також абсорбції із електроліту. Якщо поле електричне, то іони протилежних знаків змістяться і створять індуктивний результуючий момент для всієї частинки разом з її атмосферою рис 1.2. [2]. Цей індукований дипольний момент може істотно збільшити еквівалентну

проникність розчину. Відповідно до теорії, запропонованої Шварцем, час релаксації дипольного моменту визначається дифузією іонів в шарі. Дисперсія спостерігалася на низьких частотах в суспензіях синтетичних матеріалів. Частотну залежність вимірюють діелектричної проникністю суспензії полістиролів сфер діаметром  $1,88 \times 10^{-7}$  м, обсяги концентрації 30% в розчині електроліту показані на рис. 1.2

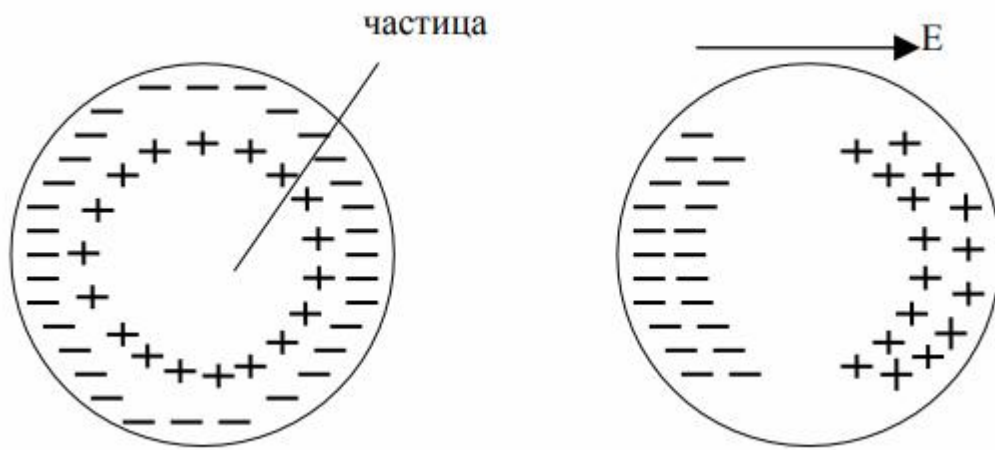


Рис. 1.2 - Дисперсія типу  $\alpha$

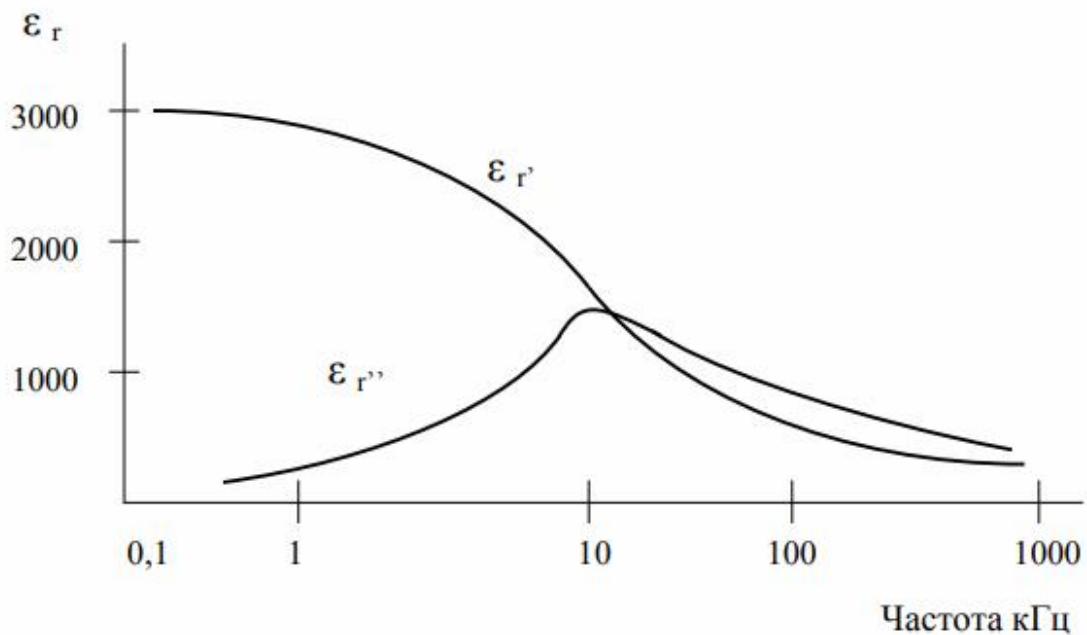


Рис. 1.3. - Частотна залежність  $\epsilon$  суспензії полістиролів сфер

Дисперсія типу  $\beta$  пояснюється основною побудовою клітин. У тканини з високим вмістом води внутрішня частина клітини і матеріал, навколишній їй зовні, являють собою провідні водянні рідини, розділені клітинної мембраною; провідність і діелектрична проникність мембрани нижче, ніж у поділюваних нею середовищ. Суспензія клітин представляє собою неоднорідний матеріал, в якому спостерігається дисперсія еквівалентної провідності і проникності, викликана ефектом Максвела-Вагнера.

Пояснюється на моделі неоднорідного матеріалу, поміщеного в плоско паралельний конденсатор. Матеріал складається з однорідних шарів, паралельних пластині. Шари товщиною  $d_1$  і  $d_2$  мають діелектричні постійні  $\epsilon_1$  і  $\epsilon_2$  і провідність  $G_1$  і  $G_2$ , які для простоти будемо вважати речовими і незалежними від частоти. «А» площа конденсатора  $d = D_1 + d_2$ . Адмітанс конденсатора дорівнює  $Y = [G + j \omega \epsilon_0 - \epsilon_r(\omega)] A / d$ .

З цього знаходиться провідність по постійному току і відносна проникливість  $\epsilon_r(\omega)$  неоднорідного матеріалу .

Еквівалентна проникливість неоднорідного матеріалу залежить від частоти. В результаті ефекту Максвела-Вагнера значення низькочастотної проникливості  $\epsilon_{rs}$  неоднорідного матеріалу оказує більше, чим значення проникливості кожної частини окремо  $\epsilon_{r1}$  и  $\epsilon_{r2}$ . Ефект Максвела-Вагнера в суспензії біологічних клітин набагато складніше, ніж в двошаровому конденсаторі рис.1.4.

Електричний струм складається з двох частин. Струм, що проходить через кліткову мембрану і внутрішню частину клітини,  $R_e$  и  $C_m$ , і струм який тече по навколишньому середовищі біля клітини  $R_e$  и  $C_e$ . Адмітанс схеми рис.4:

$$Y_c = G_e + \frac{\omega^2 \tau^2 G_i}{1 + \omega^2 \tau^2} + j\omega \left[ C_e + \frac{C_m}{1 + \omega^2 \tau^2} \right] \quad (1.6)$$

$$\tau = \frac{C_m}{G_i}; G_e = \frac{1}{R_e}; G_i = \frac{1}{R_i}; \quad (7). \quad (1.7)$$

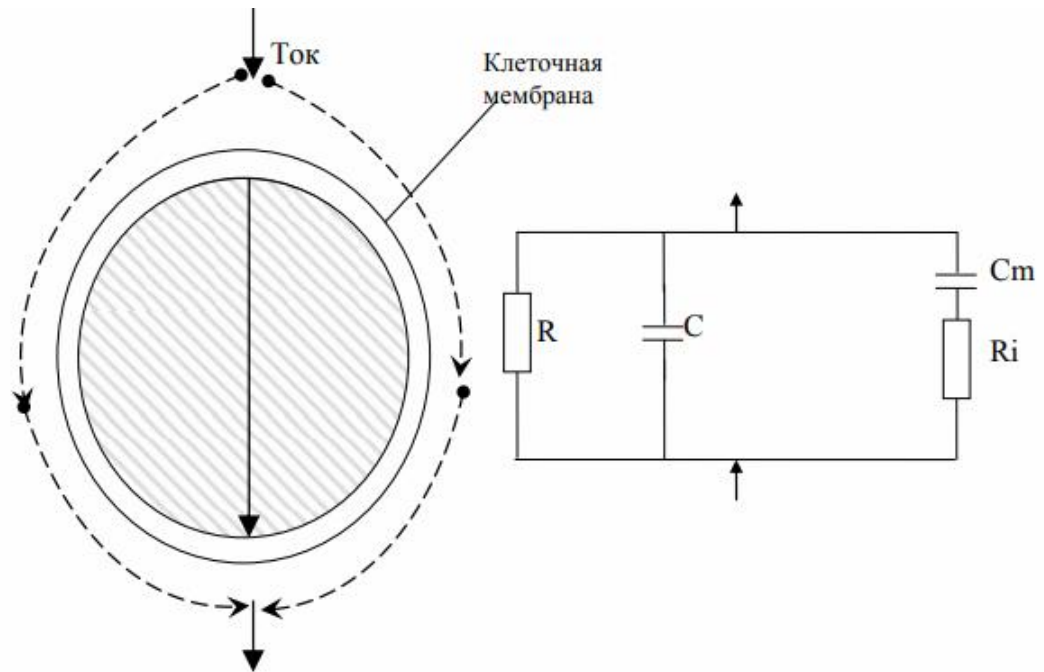


Рис.1.4 - Эффект Максвелла – Вагнера

Якщо вважати, що біологічний матеріал складається з якихось середніх клітин, то шматок матеріалу, вміщеного в конденсатор, можна розглядати як систему, що складається з безлічі еквівалентних схем, що представляють окрему клітку, з'єднаних між собою в різних послідовних і паралельних комбінаціях. Нехай  $N$  – число клітин в одиниці об'єму матеріалу,  $A$  – площа конденсатора і  $d$  – відстань між пластинами. Обсяг  $A \cdot d$  можна вважати паралельної комбінацією з  $A \cdot N^{1/3}$  схем, кожна з яких представляє собою послідовну комбінацію з  $d \cdot N^{1/3}$  простих еквівалентних схем [3]. Тоді адмітанс буде дорівнює:

$$Y = \{G + j\omega\epsilon_c - \epsilon_r(\omega)\} = Y_c \frac{[AN^{2/3}]}{[dN^{1/3}]} \approx Y_c N^{1/3} \cdot \frac{A}{d} \quad (1.8)$$

$$\mathbf{G} + j\omega\epsilon_c - \epsilon_r(\omega) \approx N\frac{1}{3} \cdot Y_c; \quad (8).$$

В результаті спрощень, допущених в аналізі, вираз для еквівалентного адмітанса  $Y_c$  має такий же вигляд, як і вираз для проникності матеріалу з дипольної релаксацією:

$$\epsilon_r = \epsilon_{r\infty} + \frac{(\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty})}{1 + j\omega\tau} \quad (9).$$

Характеризується єдиним часом релаксації  $\tau$ . У загальному випадку дисперсія типу  $\beta$  характеризується розподілом часу релаксації. Тобто дисперсія типу  $\beta$  пов'язана з електрично неоднорідним будовою клітини. Порядок величини часу релаксації можна оцінити, розглядаючи типову клітку. Ємність  $C_m$  і повна активна провідність  $G_i$  входять у вираз для часу релаксації:

$$\tau = \frac{C_m}{G_i} \quad (10).$$

$C_m$  зв'язана з мембраною клітини і можливо застосувати формулу:

$$C_m \sim \frac{r^2 \epsilon_m}{t} \quad (11).$$

Де  $r$  – радіус клітини;  $t$  – товщина мембрани;  $\epsilon_m$  – діелектрична проникність мембрани. Аналогічно провідність пов'язана з струмом в клітці і повинна залежати від провідності середовищ всередині і зовні клітини. Оскільки обидві ці середовища мають приблизно однакову провідність  $G_i$ , можна припустити, що  $G_i$  пропорційна  $r^2 G_i / r$ . Тоді  $\tau$  релаксації вийде порядку  $r \epsilon_m / t G_i$ . Для типових параметрів клітини  $r \approx 10^{-5}$  м,  $t = 10^{-8}$  м,  $\epsilon_{rm} = 3$ ,  $G_i = 1$  см/п час релаксації становить  $\tau = 2,7 \times 10^{-8}$  с, що відповідає центральній

частоті 6 МГц. У тканин, що складаються з клітин великих радіусів, дисперсія типу  $\beta$  діелектричної проникності спостерігається на більш низьких частотах [4].



## 2 5G ТЕХНОЛОГІЇ

5G – п'яте покоління мобільного зв'язку, що діє на основі стандартів телекомунікацій (5G / IMT-2020), наступних за існуючими стандартами 4G / IMT-Advanced [4]. Телекомунікаційний стандарт зв'язку нового покоління.

Технології 5G повинні забезпечувати вищу пропускну здатність у порівнянні з технологіями 4G, що дозволить забезпечити більшу доступність широкопasmового мобільного зв'язку, а також використання режимів device-to-device (букв. «Пристрій до телефону», пряме з'єднання між абонентами), наднадійні масштабні системи комунікації між пристроями, а також менший час затримки, швидкість інтернету 1-2 Гбіт / с, менша витрата енергії батарей, ніж у 4G-обладнання, що сприятливо позначиться на розвитку Інтернету речей [5].

Новий тип зв'язку набирає популярність. З цього в багатьох людей виникає питання про безпеку такого виду зв'язку . Глобальних досліджень і повного вивчення не проводилось але і для 4G і 3G також не проводили таких масових досліджень.

Технологія 5G вимагає безлічі нових базових станцій – це щогли, передають і приймають сигнали мобільних телефонів. Але що дуже важливо, оскільки передавачів більше, кожен з них може працювати на більш низьких рівнях потужності, ніж попередня технологія 4G, а це означає, що рівень радіаційного впливу від антен 5G буде нижче.

Діапазон частот від 30 до 300 ГГц також його називають міліметровим. Частота забезпечує передачу даних на швидкості до 3Гбит/сек. Одним з не достатків являється те що міліметровий діапазон має обмежений радіус покриття. Для цього установлюють багато невеликих передатчиків.

## 2.1 Міжнародна комісія по захисту від неіонізуючого випромінювання іспір

Рекомендації по обмеженню впливу електромагнітного впливу від 100 кГц до 300 ГГц. RF EMF мають здатність проникати в людське тіло, причому головним ефектом цього є підвищення температури в оголених тканинах. Людське тіло може пристосовуватися до невеликого підвищення температури точно так же, як і під час фізичних вправ і занять спортом. Це тому, що тіло може регулювати свою внутрішню температуру. Однак при перевищенні певного рівня радіовипромінювання і супутнє підвищення температури можуть спровокувати серйозні наслідки для здоров'я, такі як тепловий удар і пошкодження тканин. Інша загальна характеристика RF EMF полягає в тому, що чим вище частота, тим менше глибина проникнення ЕМП в тіло. Оскільки технології 5G можуть використовувати більш високі частоти ЕМП > 24 ГГц на додаток до тих, які використовуються в даний час <4 ГГц, потужність цих більш високих частот буде в основному поглинатися більш поверхнево, ніж енергія попередніх технологій мобільного зв'язку. Однак, хоча частка потужності, яка поглинається поверхнево, а не глибше в тілі, більше для більш високих частот, обмеження ICNIRP були встановлені, щоб гарантувати, що результуюча пікова просторова потужність залишиться набагато нижче, ніж це потрібно, щоб негативно позначитися на здоров'я. Відповідно, вплив 5G не заподіє ніякої шкоди, якщо воно буде відповідати керівним принципам ICNIRP 2020. ICNIRP 2010 було виявлено що частоті в цьому діапазоні впливають на нервову стимуляцію.

Встановлено три основні механізми взаємодії змінних електричних і магнітних полів з живою матерією:

- Взаємодія з низькочастотними електричними полями;
- Взаємодія з низькочастотними магнітними полями;
- Поглинання енергії електромагнітних полів.

## **Пряма взаємодія низькочастотних електричних полів з живою матерією**

Дія зовнішнього змінного електричного поля на людину викликає перенесення електричних зарядів, поляризацію пов'язаного заряду, виникнення електричних диполів, і переорієнтацію диполів, які були присутні в тканині. Величина цих ефектів залежить від електричних властивостей тіла, таких як електропровідність і діелектрична проникність, визначає ступінь поляризації. Електропровідність і діелектрична проникність залежать від типу тканини і частоти прикладеного поля. Зовнішні електричні поля впливають на розподіл електричних зарядів на поверхні провідної тканини і викликають протікання в організмі електричних струмів. Розподіл зарядів залежить від умов впливу, розмірів і форми тіла, а також від розташування тіла в електричному полі.

Дія зовнішнього змінного магнітного поля на людину індукує електричне поле і циркулює електричний струм всередині організму. Величина індукційних струмів залежить від величини зовнішнього магнітного поля, розміру контуру, через який протікає струм і електропровідності тканини. При впливі магнітного поля тієї ж величини і частоти найбільш сильні електричні поля будуть індукувати в контурі з найбільшими розмірами. Тіло людини не є однорідним за своїми електричними властивостями. Однак, щільність індукційних струмів може бути розрахована з використанням анатомічно і фізіологічно 19 енергетичної 19 математичних моделей людини.

## **Поглинання енергії електромагнітних полів**

Дія низькочастотних електричних і магнітних полів на людину зазвичай приводить до незначного поглинання енергії в тканинах і незареєстровані підвищення температури. Однак, вплив електромагнітних полів з частотою

вище 100 кГц може привести до значного поглинання енергії в тканини і підвищення температури. В цілому, вплив однорідного електромагнітного поля, плоскої хвилі, призводить до нерівномірного поглинання енергії в тілі людини, яке має бути оцінений з використанням дозиметричних методів і розрахунків[6].

Залежно від характеру поглинання енергії в тілі людини електромагнітні поля можуть бути поділені на чотири групи

- ЕМП з частотою від 100 кГц до порядку 20 МГц. Поглинання енергії ЕМП такої частоти в тулуб людини істотно знижується зі збільшенням частоти; значне поглинання енергії ЕМП такої частоти може відбуватися в шиї і нижніх кінцівках;
- ЕМП з частотою від близько 20 МГц до 300 МГц. Для ЕМП такої частоти характерно значне поглинання енергії в усьому тілі людини, особливо значне локальне резонансне поглинання (наприклад, в голові);
- ЕМП з частотою від близько 300 МГц до декількох ГГц. Для ЕМП такої частоти характерно локальне неоднорідне поглинання енергії; і
- ЕМП з частотою вище 10 ГГц. Поглинання енергії таких ЕМП відбувається на поверхні тіла.

У біологічних тканинах значення SAR пропорційно квадрату напруженості внутрішнього електричного поля. Для оцінки середнього значення SAR і розподілу значень SAR в тканини використовуються розрахункові методи або інструментальні вимірювання в лабораторних умовах. Значення SAR залежать від наступних факторів:

- Параметри падаючого поля, наприклад, частота, інтенсивність, поляризація, геометрична конфігурація «джерело-об'єкт»;
- Характеристики опромінюється тіла, наприклад, його розмір, внутрішня і зовнішня геометрія, діелектричні властивості різних складових його тканин;

- Ефекти екранування або відбиття від інших об'єктів, що знаходяться в полі поблизу опромінюється тіла.

Значення SAR для всього тіла людини досягає максимальної величини в разі, коли вісь тіла людини збігається з напрямком вектора напруженості електричного поля в умовах впливу плоскої хвилі . Кількість поглиненої енергії залежить від кількох факторів, в тому числі від розмірів опромінюється тіла. Для електрично-ізолюваного «стандартного умовного людини» дорослий чоловік ростом 176 см і вагою 73 кг, ICRP 1994 частота резонансного поглинання становить близько 70 МГц . Для більш високих людей, частота резонансного поглинання кілька нижче, а для дорослих людей невисокого зросту, дітей та новонароджених, а також людей в сидячому положенні її значення може перевищувати 100 МГц . Рекомендовані контрольовані рівні для електричних полів також враховують частотну залежність поглинання енергії в тілі людини. Для заземленого людини значення резонансних частот практично в два рази нижче .

Якщо джерелом ЕМП є обладнання, яке працює з частотою вище 10 МГц (Діелектричні обігрівачі, мобільні телефони), то вплив на людини може відбуватися в умовах ближньої зони. У ближній зоні залежність поглинання енергії від частоти електромагнітної хвилі має інший характер, ніж в умовах далекої зони. Крім того, в певних умовах вплив електричного і магнітного поля не рівнозначно. Наприклад, при користуванні мобільним телефоном переважає вплив магнітного поля на людину. Для оцінки впливу електромагнітних полів в ближній зоні особливо цінними є розрахункові методи і вимірювання індукційних струмів в організмі людини і напруженості поля в тканинах. Це було продемонстровано на прикладі впливу таких джерел ЕМП, як мобільні телефони, переносна радіозв'язок, радіомовні антени, засоби зв'язку на судах і діелектричні обігрівачі

В цих дослідженнях було показано, що при впливі ЕМП в умовах ближньої зони спостерігається висока локальне поглинання енергії, і що значення SAR для всього тіла або певних частин тіла залежать від відстані від джерела високочастотного поля. Необхідно відмітити, що вимірні значення SAR не суперечили розрахункових значень. Середнє значення SAR для всього тіла людини і локальні значення SAR є зручними дозиметричними величинами при порівнянні ефектів, що спостерігаються в різних умовах впливу. При частоті вище порядку 10 ГГц глибина проникнення електромагнітної хвилі в біологічні тканини дуже мала, тому SAR не може бути використана для оцінки поглиненої енергії. В цьому випадку, найбільш підходящою дозиметричною величиною є щільність потоку енергії  $\text{Вт м}^{-2}$  [6].

## 2.2 Біологічні ефекти впливу міліметрового і субміліметровий вимірювання

Особливий інтерес представляють біологічні ефекти вкрай високих частот, частотний діапазон від 30 до 300 ГГц – КВЧ діапазон, оскільки вони використовуються в медичній практиці в якості перспективного терапевтичного методу лікування різних захворювань. При цьому оптимальні величини енергетичних параметрів впливу зовнішніх фізичних факторів на біосистеми, що не викликають побічних патогенних реакцій, відповідають малим і над малим дозам і щільності потоку енергії не більше  $1 \text{ мВт} / \text{см}^2$  [7, 8]. Домінуючою концепцією в цій галузі досліджень з'явилася ідея про резонансній взаємодії ЕМВ НВЧ з живими системами. Резонансний характер впливу полягає в тому, що опромінення однієї довжиною хвилі призводить до іншого результату, ніж дія іншої, навіть досить близькою, тобто біологічно значимий відгук може спостерігатися тільки на строго визначених частотах. У ряді робіт вказується, що важливу роль в нетеплових ефекти

впливу ЕМІ КВЧ на біологічні об'єкти грає вода. У зв'язку з цим особливої уваги заслуговує відкритий саратовськими фізиками ефект, СВО – ефект резонансного збудження об'ємних молекулярних хвиль міліметровим випромінюванням в воді і водомістких середовищах . При цьому було виявлено два чітко виражених резонанса на частотах 53 і 65 ГГц. У зв'язку з цим метою роботи було дослідження біологічних ефектів впливу ЕМВ НВЧ в діапазоні частот 53 – 75 ГГц [ 9 ].

Для оцінки біологічних ефектів використовують інфузорії *Paramecium caudatum*. Інфузорії даного типу мають складною будовою і різноманітністю функцій, дозволяють одночасно оцінювати впливу на клітинному і організменого рівнях

В якості джерела ЕМВ НВЧ використовується генератор Г4-142. Опромінення об'єктів виконується с допомогою пірамідальною рупорною антеною довжиною 23 см апертурою 42 Ч 50 см<sup>2</sup> . Полоса частот корелюється від 7 мВт до 12 мВт, частота міняється з 53 по 75 ГГц з шагом 1 ГГц.

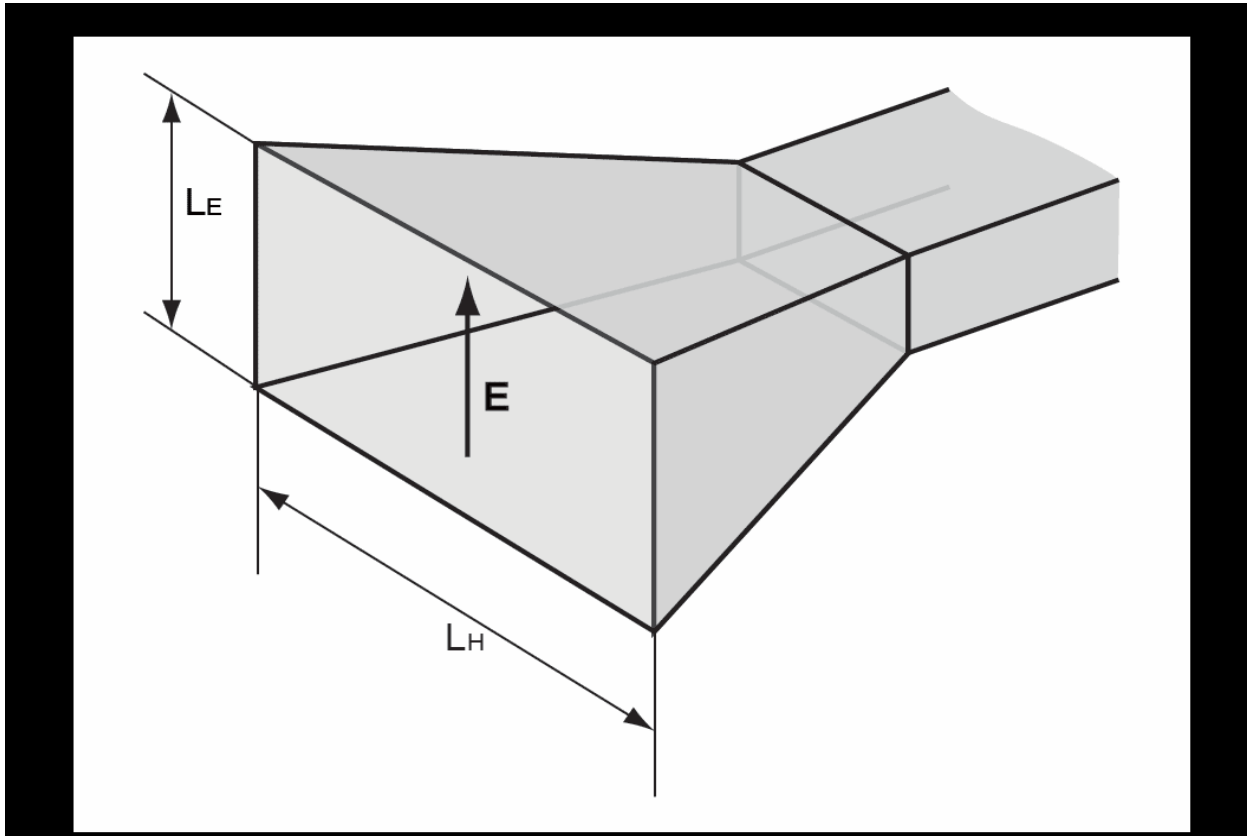


Рис. 2.1 Рупорна антена пірамідального типу

У першій серії експериментів було проведено дослідження впливу ЕМВ НВЧ на рухливість інфузорій *P. Caudatum* при різній інтенсивності (ППЕ) і часу випромінювання. При визначенні тест-відгуку на кожній частоті використовували кювети з новими (неопроміненими) зразками. Результати представлені на рис. 2.2 та 2.3.



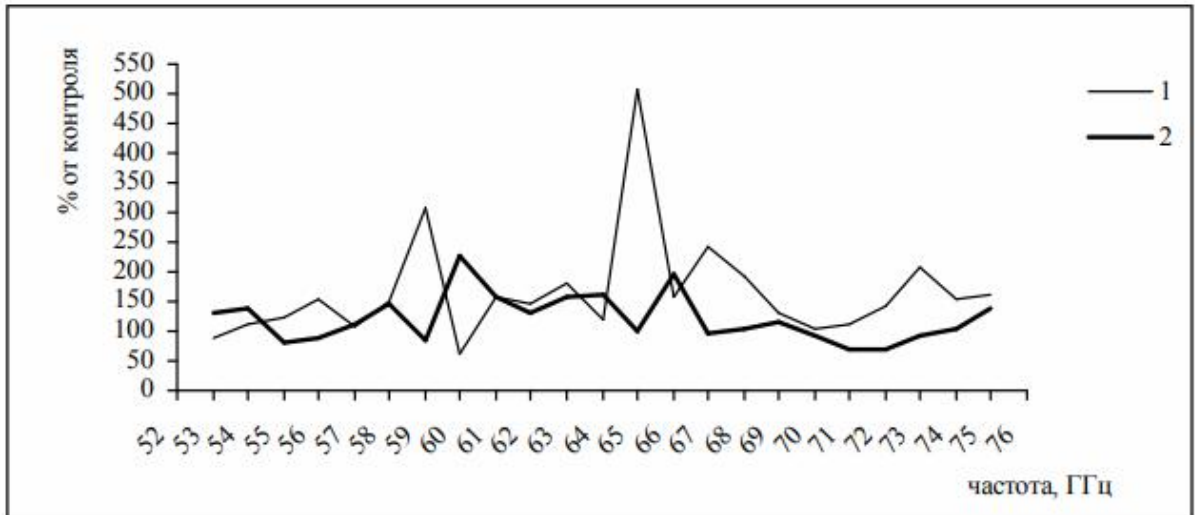


Рис. 2.2 Зміна концентрації рухомих *P. caudatum* в залежності від частоти і щільності потоку випромінювання (% від контролю). Опромінення різних кювет. Щільності потоків випромінювання: 1 – 120 мкВт / см<sup>2</sup>; 2 – 4 мкВт / см<sup>2</sup>. Час впливу ЕМВ НВЧ – 15 хв

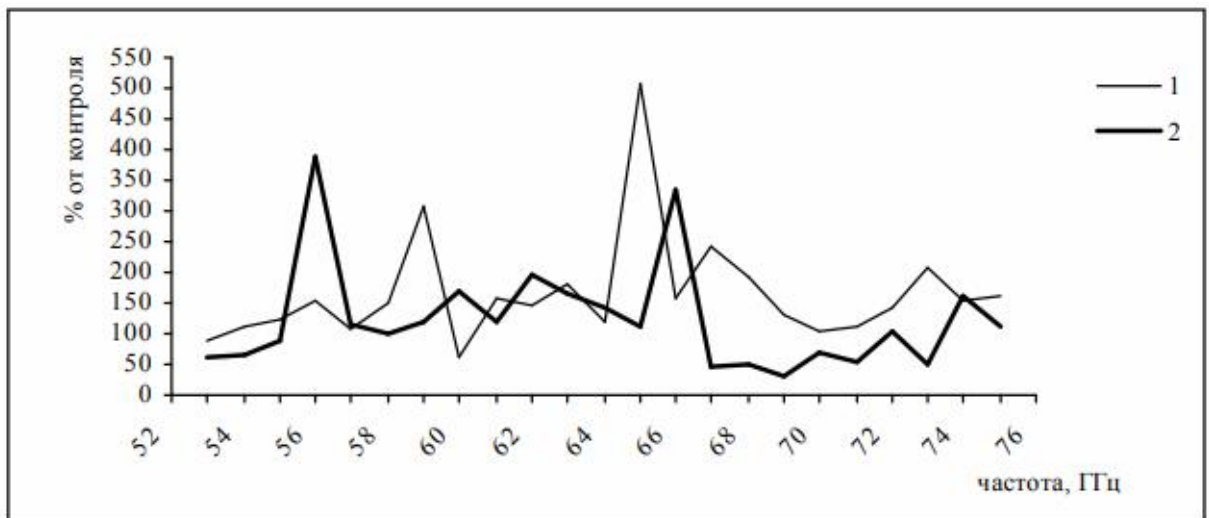


Рис. 2.3 Зміна концентрації рухомих *P. caudatum* в залежності від часу впливу ЕМВ НВЧ (% від контролю). Опромінення тест-об'єктів в різних кюветах: 1 – 15 хв, 2 – 3 хвилин. Щільність потоку випромінювання - 120 мкВт/см<sup>2</sup>

Як випливає з графіків, концентрація рухомих інфузорій змінюється при впливі ЕМВ НВЧ. На характерних частотах (55, 60 і 65 ГГц) їх число різко збільшується. Частоти 55 і 65 ГГц відповідають частотам резонансного відгуку води під дією міліметрового діапазону. При цьому на частоті 65 ГГц форма резонансної кривої фактично повторює аналогічну форму другого резонансу СВО – ефекту, наявність двох горбів [10]. При оцінці впливу ППЕ було показано, що більш явно зміни рухливості парамедії виражені при  $120 \text{ мкВт} / \text{см}^2$ . Так, на частоті 65 ГГц виявлено значне підвищення концентрації рухомих *P. Caudatum* при збільшенні ППЕ. На частоті 55 ГГц ефект проявився лише при ППЕ  $120 \text{ мкВт}/\text{см}^2$  і зменшенні часу впливу ЕМІ до 3 хв., що, в принципі, збігається з результатами роботи [11]. Аналізуючи результати досліджень, представлених на рис. 6 і 7, слід зазначити відсутність явної залежності спостережуваних ефектів від енергетичної експозиції. Найбільш явно простежуються залежності від ППЕ і часу впливу. Як видно з графіків рис. 8, збільшення ППЕ призводить до незначного зсуву піків активності інфузорій по частотах і істотного збільшення тест-відгуку. З іншого боку, зменшення часу впливу ЕМВ НВЧ з 15 до 3 хв. призводить до значного збільшення тест-відгуку на частоті 55 ГГц при його зменшенні на частотах 60 і 65 ГГц. На відміну від результатів робіт [12] резонансна зміна концентрації рухомих інфузорій під дією ЕМВ НВЧ було виявлено та в районі частоти 60 ГГц. Ця відмінність пояснюється тим, що в нашому випадку з живі біооб'єкти, а не з вода. Високі адаптаційні можливості біосистем до впливу ЕМІ обумовлені тривалим, еволюційним впливом електромагнітних полів природного походження. Однак є цілий ряд спектральних смуг радіохвиль, рівень яких у поверхні Землі мізерно малий. Це пояснюється резонансним поглинанням ЕМІ цих частот атмосферним киснем і парами води. Особливий інтерес представляє інтерес частоти 60 і 120 ГГц, які відповідає піку максимального поглинання атмосферного кисню.

Очевидно, що саме на цих частотах можна очікувати максимального прояви біоефективного впливу ЕМВ НВЧ.

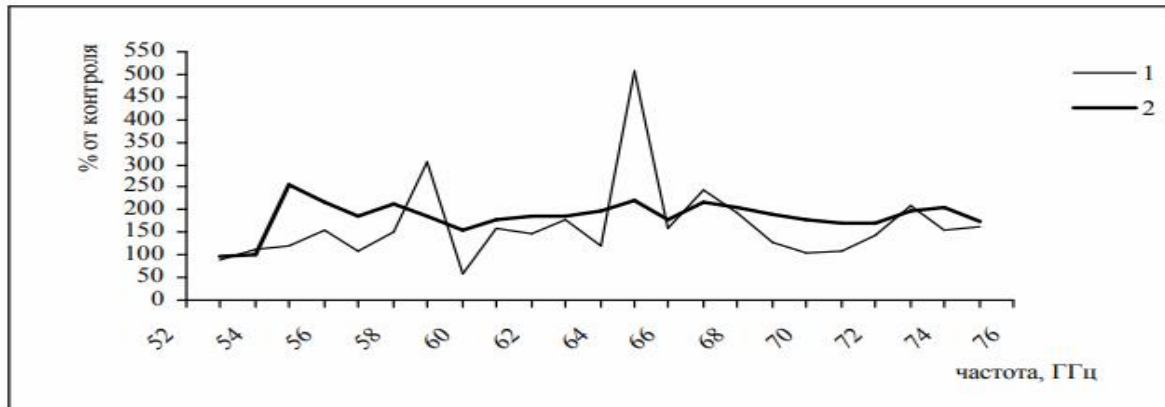


Рис. 2.4 - Зміна концентрації рухомих *P. caudatum* в залежності від частоти (% від контролю). Щільність потоку випромінювання  $120 \text{ мкВт} / \text{см}^2$  : 1 – опромінення різних кювет ; 2 – опромінення однієї кювети. Час впливу ЕМВ НВЧ – 15 хв.

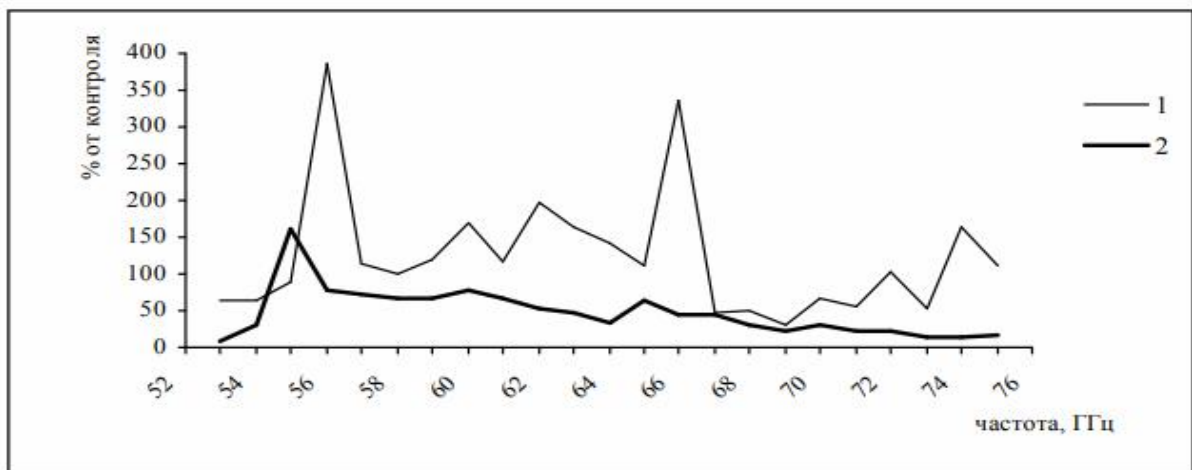


Рис. 2.5 - Зміна концентрації рухомих *P. caudatum* в залежності від частоти (% від контролю). Щільність потоку випромінювання  $120 \text{ мкВт} / \text{см}^2$ : 1 – опромінення різних кювет; 2 – опромінення однієї кювети. Час впливу ЕМВ НВЧ – 3 хв.

В ході експериментів виявлено частотні залежності біоефектів, які мають різноспрямований характер, а в деяких випадках і повна їх відсутність. В діапазоні частот 53-75 ГГц виявлено три смуги резонансного впливу ЕМВ НВЧ на біологічні об'єкти 59, 65 і 67 ГГц, дві з яких збігаються з частотами збудження молекулярних хвиль у воді і водомістких середовищах. Максимальне відхилення експериментальних даних в порівнянні з контролем сталося на резонансній частоті 65 ГГц в 5 разів. Основні відмінності досліджених в даній роботі частотних характеристик зміни концентрації рухомих Р. Caudatum під впливом ЕМВ КВЧ від частотних характеристик залежно радіо відгуку води при СВО- ефектів очевидно пояснюються тим, що в даному випадках маємо справу з живим організмом[11].

Основною небезпекою на даний момент міліметрового діапазону являється тепловий вплив на тканини ( шкіра , хрящі). Яке супроводжується пошкодженням тканин, руйнування кліткових оболонок, згортання білків, опіків.

Міліметрові сигнали забезпечують в живих організмів гомеостаз , стан рівноваги динамічного середовища в біологічному процесі. Також обмін речовин, стабільність крові, лімфи. Вплив електромагнітного поля призводить до порушення гомеостазу. Склад крові, лімфи може змінюватися.

Вплив середньо частотного ЕМП з напруженістю 20-140 В/м, високочастотного ЕМП з напруженістю 8-50 В /м, ультрависокої з 6-30 В /м, надвисокочастотного імпульсивного переривчастого з 10-50 мкВт/см<sup>2</sup> – викликає зміни в центральній нервовій системі.

Надлишок призводить до порушення в нервовій, імунної, ендокринної , репродуктивної системі людини. Відбувається стимуляція гіпофіза адреналінової системи, яка призводить до викиду адреналін в кров, активується згортання крові. Знижується гонадотропна активність гіпофіза.

### 3 6G ТЕХНОЛОГІЇ

6G – шосте покоління мобільного зв'язку, швидкість якого буде досягати від 100 Гбіт/с до 1Тбіт/с. При цьому буде використовуватися терагерцовий діапазон.

Терагерцовими хвилями називають частоту діапазона 102 – 104 ГГц тобто довжина хвиль 3мм до 30 мкм. Займає цей діапазон спектр між інфрачервоне і мікрохвильовим діапазоном. Діапазон займає значну частину субміліметрового діапазону, інфрачервоний діапазон і частину видимого діапазону.

Виявлені деякі резонансні частоти біологічних об'єктів із області терагерцевого діапазону.

Таблиця 3.1 - Терагерцевий спектр частот, зв'язаний з біологічними структурами

<b>Біологічні структури</b>	<b>Структури випромінювання і поглинання</b>	<b>Дані</b>
Мембрани нативних клітин	0,1...1 ТГц	Розрахунок
Біологічно активні точки	0,12...0,4ТГц 0,5 ГГц ... 1ТГц	Вимірювання Розрахунок
Соматична клітина ссавців	2,39 ТГц	Розрахункова частота
Хромосоми різної генної активності	0,75...15 ТГц	Розрахунок
Дихальна система , альвеоли легень	0,06..0,6 ТГц 0,6...3 ТГц 0,3..0,5 ТГц	Вимірювання Розрахунок Розрахунок
Еритроцити крові	0,5...1 ТГц	Розрахунок
Вода, пари води	0,065...0,5 ТГц 900 ліній	Вимірювання Вимірювання і розрахунок

У терагерцевому діапазоні знаходяться резонансні частоти соматичної клітини ссавців 2,39 ТГц і хромосом різної генної активності  $0,75 \pm 15$  ТГц. Взаємодії випромінювань на цих частотах з зазначеними біологічними структурами викликають зміни в ДНК тимоцитів, імунна клітина, щурів лінії Вістар, впливають на процес скручування ДНК в залежності від напрямки кругової поляризації впливає поля. Розрахунок показує, що резонансні частоти альвеол легень знаходяться в діапазоні  $0,3 \pm 0,5$  ТГц, а еритроцитів крові людини –  $0,5 \dots 1$  ТГц .

Вплив терагерцевого діапазону на живі системи. В даному випадку буде зроблено аналіз на вплив субміліметрового діапазону на оксид азоту (NO) який являється внутріклітинним посередником , універсальний регулятор фізіологічних і метаболічних процесів в самої клітині так і в організмі в цілому.

Основною особливістю діапазону впливу на біоб'єкти є те що частоти коливально – обертальних переходів води і біологічних молекул як простих так і складних (білки, нуклеїнові кислоти, поліпептиди). Специфіка даного діапазону проявляється в тому що має наявність власних частот колективних коливальних переходів, що укупі з модами водневих зв'язків обумовлює міжмолекулярні взаємодії.

Терагерцевий діапазон має потужну здатність поглинання водою. При цьому субміліметровий діапазон на порядок потужніший інтенсивністю. Поглинута енергія водою індукує 30 енергичності 30 перехід.

Оксид азоту являється месенджером при реалізації ряду фізіологічних функцій, але при більш високих рівнях концентрації проявляється його цитотоксичні дії при захисті організму від бактеріальних інфекцій і злоякісних пухлин.

### 3.1 Характер відгуку на клітковому рівні при впливу террегерцового діапазону

Основний вплив проявляється на мембранному і ядерному рівні. Установлено що хвилі впливають на стабільність кліткових мембран. Вплив на еритроцитів в людини , змінює проникність і осмотичну стійкість мембрани.

Відгук на ядерному рівні проявляється змінною частоти мітозів , поділ ядер клітин , інтенсивністю синтезу ДНК і РНК. Випромінювання посилює спонтанні і індукційні мітози. Як вказують В.І. Федоров, А.Г. Хамоян 2009 функціональне стан клітин визначається не тільки внутрішньоклітинними процесами, але задається і різними позаклітинними регуляторами. Ними виявлено, що на відгук еукаріотів на субміліметрове опромінення терагерцового діапазону впливає міжклітинні взаємовідносини.. Показано, що присутність опромінених моноцитів істотно впливає на вираженість індукованої мітотичної активності опромінених лімфоцитів. Отже, опромінені моноцити виділяють такі цитокіни , які змінюють чутливість лімфоцитів до субміліметровий випромінювання. Більш того, опромінені моноцити стимулюють поділ навіть неопромінених лімфоцитів.

Ці результати дозволяють зробити припущення про те, що опромінені моноцити або виділяють цитокіни, що стимулюють поділ лімфоцитів, або цитокіни, що підвищують чутливість лімфоцитів до стимулятора мітозів, або опромінення змінює активність або афінність рецепторів сприйняття лімфоцитами моноцитарних цитокінів. Виявлені ефекти випромінювання субміліметрової частини терагерцового діапазону на клітинному рівні, як зазначено вище, мають не прямий характер, а є відображенням молекулярних і міжмолекулярних взаємодій, розвиток яких індуковано випромінюванням [14].

Встановлено закономірність яка проявляється на клітковому рівні, це що покривні і опірні клітини не реагують на субміліметровий діапазон. Дослідження проводились на клітинах людини. В експерименті активність клітин не змінилась після опромінення. Така відсутність чутливості має функцію екранування від випромінювання субміліметрової частини терагерцевого діапазону.

А.С. Погодін в 1998 року доказав що субміліметрове випромінювання не впливає на пухлині клітини. Відсутність реакції на випромінювання можливо пов'язана з малігнізацією, нормальна клітина проявляє властивості злоякісної пухлини.

### 3.2 Особливістю впливу субміліметрового діапазону на елементи крові

Клітини використовують вузький міліметровий і субміліметровий діапазон для обміну інформацією, необхідних для регулювання внутріклітинних і міжклітинних взаємодій еритроцити, зумовлюючи в'язкість крові, виражають явною чутливістю до субміліметрового діапазону.

У хворих нестабільною стенокардією при 15-хвилинному опроміненні цільної крові в умовах ЕМІ частоти МСПІ оксиду азоту з рівнем падаючої потужності 0,3 мВт виявлено переважно підвищення її в'язкості при великих і малих швидкостях зсуву, що досягає статистичної достовірності при низьких швидкостях зсуву. Підвищення в'язкості цільної крові відбувалося в 64,3% випадків, в 25% - спостерігалось зниження в'язкісних властивостей крові, а в 10,7 % випадків відзначалося відсутність змін. Відзначалися збільшення агрегаційної здатності еритроцитів в середньому на 4,9% і зниження їх 32 енергетичність на 6,5%. При цьому зареєстровані підвищення міцності еритроцитарних агрегатів і зниження зони суспензійний активності крові в бік більших значень швидкості зсуву. Виявлено залежність



вираженості ефекту ТГЧ – впливу від вихідної в'язкості опромінюється зразка

крові як при високих  $200\text{с}^{-1}$ , так і низьких  $20\text{с}^{-1}$  швидкостях зсуву. Так, при опроміненні зразків крові з вихідної в'язкістю на високих швидкостях зсуву до  $3\text{ мПа}\cdot\text{с}$  включно звертає на себе увагу статистично достовірне підвищення в'язкості цільної крові від 50 до 114%. При цьому підвищувалася і агрегаційна здатність еритроцитів  $p < 0,01$ . У зразків цільної крові з вихідним рівнем в'язкості від 3 до  $4\text{ мПа}\cdot\text{с}$  статистично достовірне підвищення в'язкості крові відбувається при будь-яких швидкостях зсуву  $p < 0,01$ . При цьому підвищення агрегаційної здатності еритроцитів не досягало рівня статистично достовірної значущості, а пластичність їх мембран достовірно  $p < 0,01$  знижувалася від 8,6 до 15,1%. Якщо ж вихідна в'язкість крові знаходилася в діапазоні від 4 до  $5\text{ мПа}\cdot\text{с}$ , то в'язкість після опромінення підвищувалася в середньому на 4%. При опроміненні цільної крові, в'язкість якої становила понад  $5\text{ мПа}\cdot\text{с}$ , відбувалося чітке її зниження на 28-30% від вихідного рівня. Зазначена тенденція простежувалася при оцінці ступеня зміни в'язкості крові цільної крові і при низьких швидкостях зсуву  $20\text{с}^{-1}$ . [15].

Таким чином, різні типи клітин виявляють деякі закономірні відгуки на субміліметрове випромінювання терагерцового діапазону.

Можливі механізми, які обумовлюють ці відгуки, наступні:

- Зміна конформації мембранних білків, що запускає
- Внутрішньоклітинний каскад «регуляторів» 3генетичної ферментативних
- систем, проникності клітинних мембран для різних речовин;
- Зміна конформації мембранних білків, що сприймають
- зовнішні регуляторні сигнали;

- Зміна конформації мембранних білків, які є насосами або каналами транспорту різних речовин в клітку і з клітки;
- Перерозподіл електричного заряду на мембрані клітини;
- Порушення резонансних коливань макромолекул, що входять до складу клітинної мембрани і цитоскелету в цілому

## ВИСНОВКИ

Електромагнітне випромінювання впливає на тканини і органи живих систем. Це призводить до змін в самому організмі. З системами 5G відбувається нагрівання в організмі яке приводить до змін самого організму при випромінюванні. Система 6G діапазон в якому буде знаходитись біде впливати на молекулярний стан клітин частіше всього на воду яка знаходиться в клітині тому що знаходиться в резонансній частоті з водою. Саме електромагнітне випромінювання призводить до поляризації і суспензії яка змінює стан самої тканини. Дослідження вказують на постійний вплив електромагнітного випромінювання на живі об'єкти що призводить до різних факторів. Від опіків до підвищення ймовірності захворіти на рак від 1.3 до 1.5.

Також саме електромагнітне випромінювання грає важливу роль в еволюції суспільства і дає безліч можливостей від передачі інформації закінчуючи медичними приборами для вивчення захворювань.

Електромагнітне випромінювання в розумному використанні не несе критичної загрози для живих об'єктів і людей в цілому.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. П.П. Лошицкий Взаимодействие биологических объектов с физическими факторами ст. 213
2. Сподобаев, Ю. М. Основы электромагнитной экологии : науч. изд. / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов ; рецензент д. м. н., профессор В. А. Андреев. – Москва : Радио и связь, 2000. – 240 с
3. Сусак, И. П. О первичных механизмах воздействия электромагнитных полей на биологические объекты / И. П. Сусак, О. А. Пономарев, А. С. Шигаев // Биофизика сложных систем. – 2005. – том 50. – С. 367 – 370.
4. Ayrapetyan G., Naupapetyan H., Dadasyan E., et al. // Electromagn. Biol. and Med. 2009. V. 28. № P. 331-341.
5. ITU towards “IMT for 2020 and beyond” - IMT-2020 standards for 5G
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/5G>
7. Руководства МКЗНИ по ограничению воздействия переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей (ДО 300 ГГц) [https://www.who.int/peh-emf/publications/ICNIRP\\_Guidelines\\_rus\\_final.ua](https://www.who.int/peh-emf/publications/ICNIRP_Guidelines_rus_final.ua)
8. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Гельвич Э.А. и др. Воздействие электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона длин волн на биологические системы // Радиобиология. 1981. Т. 21, вып. 2.
9. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
10. Е.А. Зотова, Ю.А. Малинина, А.Ю. Сомов Биологические эффекты воздействия миллиметрового и субмиллиметрового излучения т. 10, № 2, 2008
11. Синицин Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А. и др. Особая роль системы «миллиметровые волны – водная среда» в природе // Биомед. радиоэлектроника. 1998. № 1.

12. Авдеенко В.С., Калюжный И.И., Креницкий А.П. и др. Влияние электромагнитных КВЧколебаний на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональной состоянии эритроцитов крови животных // Биомед. технологии и 641 радиоэлектроника. 2003. № 2.

13. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004.

14.Закономерности и механизмы биологического действия электромагнитных волн терагерцевого диапазона на частотах активных клеточных метаболитов  
[http://science.sgmu.ru/system/files/diss/15/diss\\_cymbal\\_aleksandr\\_aleksandrovich.pdf](http://science.sgmu.ru/system/files/diss/15/diss_cymbal_aleksandr_aleksandrovich.pdf)

15. Рытик Андрей Петрович Эффекты воздействия терагерцевого излучения на биологические объекты Саратов —2006