

**ДІЇ НВЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ НИЗЬКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ**

**Федюшко Ю. М., Федюшко М. П.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*Біологічна клітина розглянута у вигляді еквівалентної електричної схеми заміщення та резонатора і визначені резонансні частоти таких систем.*

**Постановка проблеми.** Встановлено, що характерною особливістю дії ЕМІ на живі організми є його «резонансний» характер - біологічний ефект спостерігається у вузьких інтервалах частот ЕМІ [1]. Живі організми не гомогенні, а складаються з різних частин, що виконують ті або інші спеціальні функції. Структурною і функціональною одиницею як у рослин, так і у тварин є клітина [2,3]. Клітина є самостійною функціональною одиницею, а процеси, що протікають в організмі, складаються з сукупності координованих функцій його клітин [4]. Отже, частоти, відповідні власним резонансам клітини, можуть бути різні і лежати в певному діапазоні електромагнітного спектру.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поставлену задачу можна вирішити двома способами. По-перше, уявити клітину (і групу клітин) у вигляді електричної схеми заміщення, що складається із зосереджених елементів у вигляді комбінації опорів (R), електричних ємкостей (C) і індуктивностей (L), і визначити для такої системи резонансні частоти. По-друге, розглянути біологічну клітину, як деякий резонатор, заповнений діелектриком, і з погляду електродинаміки розподілених систем також визначити власні частоти електромагнітних коливань.

Реалізацію першого способу, по визначенню резонансних частот клітин, можливе за допомогою електричної еквівалентної схеми заміщення. Хоча такі схеми заміщення біологічних клітин і їх мембран розроблені багатьма авторами [6 - 10], не дивлячись на це, мало приділяється уваги аналізу запропонованих схем.

Клітина є складне утворення, поміщене в оболонку (мембрану). Радіус клітини (rc) складає величину порядку  $10^{-6} - 10^{-5}$  м, товщина мембрани hm є 7,5 – 8,0 нм і рідко перевищує величину 10 нм, ширина міжклітинного простору  $\sim 1...2 \cdot 10^{-8}$  м, розмір глобулярних білків:  $2.. 10 \cdot 10^{-9}$  м, товщина фосфоліпідного шару:  $3...6 \cdot 10^{-9}$  м [13].

Аналіз літературних даних дозволяє прийняти наступні допустимі межі змін параметрів клітини і її складових:

- діаметр клітини  $d_c = 2 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$  м ;
- ємкість клітинної мембрани  $C_m = 10^{-14} - 2 \cdot 10^{-13}$  Ф;
- електричний опір мембрани  $R_m = 10^6 - 10^{12} - 10^{18}$  Ом;
- електричний опір протоплазми клітки  $R_p = 10^3 - 10^5$  Ом;
- відносна діелектрична постійна мембрани  $\epsilon_m = 2 - 9$ ;
- відносна діелектрична постійна протоплазми  $\epsilon_p =$

40 - 80.

Приведені дані дозволяють провести розрахунок електричних параметрів клітини:

1) абсолютна діелектрична проникність клітинної мембрани  $\epsilon_{ma} = \epsilon_m \epsilon_0$  і протоплазми  $\epsilon_{pa} = \epsilon_p \epsilon_0$ , де  $\epsilon_0 = 10^{-9} / 36\pi$  Кл/(В м);

2) електричну ємкість протоплазми  $C_p = 4 \pi \epsilon_{pa} D_c$ ; індуктивності клітинної мембрани і протоплазми, відповідно, рівні  $L_m = \mu_0 C_m / \epsilon_0 \epsilon_m$ , и  $L_p = \mu_0 C_p / \epsilon_0 \epsilon_p$  або  $L_p = (D_c / 2)^2 (\epsilon_p \epsilon_0 \mu_p \mu_0 / C_p x^2)$ .

**Мета статті.** Виходячи зі всього вищесказаного, витікає завдання про знаходження власних частот електромагнітних коливань різних структур біологічних систем.

**Основні матеріали дослідження.** Еквівалентну схему заміщення клітини можна отримати шляхом послідовного з'єднання схем для мембрани і протоплазми (рис. 1), де зображені деякі її еквівалентні схеми.

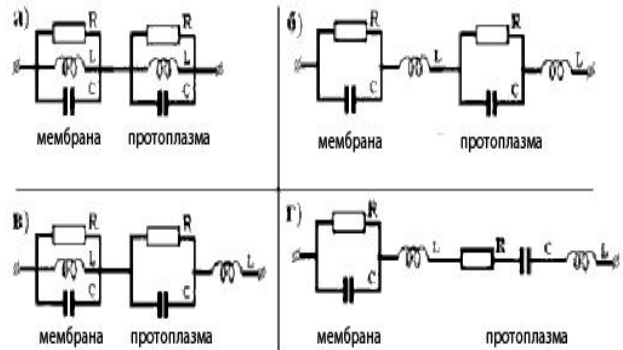


Рисунок 1 - Еквівалентні схеми клітини

Для кожної з них були отримані вирази для визначення резонансних частот. Результати аналізу, у відповідності до приведених схем, відповідають спектру резонансних частот (табл. 1).

Таблиця 1 - Діапазон резонансних частот

Схема	Частота, ГГц		Діапазон
	Min.	Max.	
1 а	2,987	2204	см, мм и часть субмм
1 б	5,353	133.5	см и мм
1 в	4,258	11350	часть см, мм и субмм
1 г	5,353	133.5	см и мм
Всі	2,987	11350	см, мм и субмм

Дані, приведені в таблиці 1, показують, що частоти коливань клітини займають сантиметровий, міліметровий і субміліметровий діапазони довжин хвиль. Очевидно, що саме дія на біологічні системи електромагнітними випромінюваннями у вказаних діапазонах, виявиться найбільш ефективним і приведе до максимального біологічного відгуку (ефекту). Таким чином, сантиметровий діапазон довжин хвиль (НВЧ - хвилі) і терагерцові хвилі також визначають біологічну роль, як і діапазон міліметрових хвиль (КВЧ - хвилі).

Розглянуте вище уявлення клітини у вигляді еківалентної схеми дозволило оцінити діапазон частот, в якому можуть лежати резонансні частоти. Проте можна очікувати, що достовірніші результати можна отримати, якщо використовувати електродинамічні методи розрахунку резонансних частот клітини. Так, наприклад, в роботі [6] біологічна клітина представляється у вигляді кулі, заповненої цитоплазмою. Куля оточена тонкою стінкою, яка і є мембранною. Якщо розглядати дану систему як резонатор, то цілком очевидно, що вона володіє спектром резонансних частот.

Представимо біологічну клітину у вигляді сферичного резонатора (рис. 2), заповненого ізотропним діелектриком з діелектричною проникністю, яка знаходиться в межах від 1 до 81. Вважатимемо, що радіус клітини може приймати значення в діапазоні від  $10^{-6}$  до  $10^{-5}$  м.

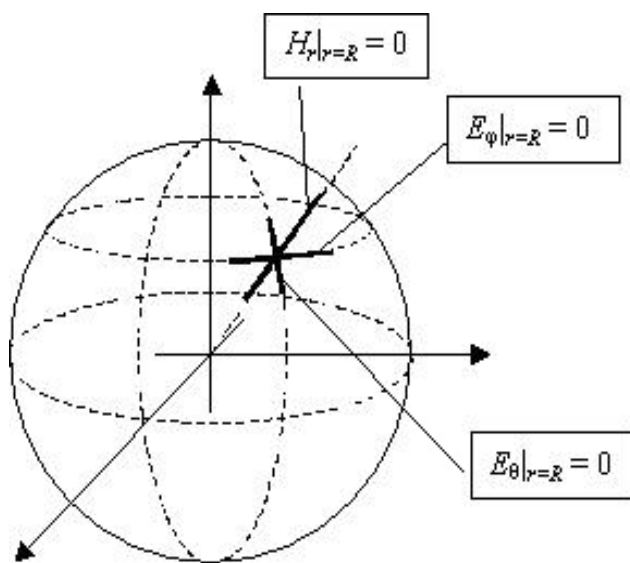


Рисунок 2 - Модель біологічної клітини, представлена у вигляді сферичного резонатора

Можливість розгляду стінок (меж) біологічної клітини, як провідних поверхонь, можливе виходячи з наступних положень:

- ліпідна мембрана має на обох поверхнях електричний заряд, який забезпечується полярними головками фосфоліпідних молекул;
- по обох сторонах мембрани сконцентровані іони різних речовин ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  і т. п.), які можуть переходити із зовнішнього середовища клітини у внутрішнє, і навпаки, створюючи при цьому електричний струм;
- для спрощення теоретичних викладень не вра-

ховувалися втрати на діелектриці і провіднику, а також не враховувалася анізотропна природа внутрішнього середовища клітини;

- всі обчислення проводилися для радіусу мембрани  $10^{-5}$  м. У випадку, якщо радіус прийняти рівним  $10^{-6}$  м, то всі довжини хвиль зменшаться в 10 разів.

Чисельні результати розрахунку показують, що резонансні довжини хвиль даної системи лежать в інтервалі від сотих до десятих долей міліметра, крім того, резонансні довжини хвиль для Е-колебаний і для Н-колебаний мають однаковий порядок, крім того критичні довжини хвиль біоклітини імовірно лежать в основному в міліметровому, а також в субміліметровому діапазоні. Максимальні критичні довжини хвиль (табл. 1) лежать в субміліметровому діапазоні. Таким чином, теоретично отримані значення достатньо близько відповідають описуваним в літературі експериментальним даним. Відмінність значень на порядок має місце, мабуть, у зв'язку з тим, що дана модель біоклітини значно ідеалізується: не враховувалися втрати на провідниках і діелектриці, а також не враховувалися анізотропні властивості протоплазми.

Завданням експериментального дослідження була перевірка базового положення, яке полягає в визначенні нетеплових ефектів дії ЕМВ НВЧ, які мають резонансний характер, тобто існують частоти, на яких може існувати як позитивна, так і негативна дія. Експериментальна частина роботи полягала в дослідженні дії НВЧ - випромінювання низької інтенсивності на зерна пшениці. На першому етапі роботи проводилося виявлення характерних частот, на яких відбувається резонансне поглинання НВЧ, - випромінювання низької інтенсивності зернами пшениці. Всі вимірювання проводилися послідовно для наступних інтервалів частот: 2 - 3 ГГц, 3 - 4 ГГц, 4 - 5 ГГц, 5 - 6 ГГц, 6 - 7 ГГц, 7 - 8 ГГц. В результаті виявлені наступні характерні частоти: 6,74 ГГц, 6,84 ГГц, 6,91 ГГц, 7,01 ГГц, 7,27 ГГц, 7,44 ГГц. При опромінуванні зерен пшениці на цих частотах відбувається резонансне поглинання енергії НВЧ - випромінювання. Опромінування проводилося на експериментальній установці, розробленій на базі генератора стандартних сигналів Г4-82, що дозволяє отримувати на виході калібровану щільність потоку потужності  $5 \text{ МВт/см}^2$  в діапазоні 5,6 - 7,5 ГГц в будь-якому режимі роботи (безперервній генерації або імпульсній модуляції), відкритого коаксіального хвилеводу і термісторного вимірювача потужності. Як об'єкт експерименту вибрані непроорощені зерна пшениці. Оцінювалася залежність показників схожості і інтенсивності зростання опроміненої пшениці від частоти опромінюючого поля при фіксованій величині потоку потужності.

В якості реєстрації відгуку на дію, обрано відношення числа насіння, що зійшло, після опромінування до посаженого насіння (схожість). Схожість в контролі визначається відношенням числа насіння, що зійшло, в звичайних умовах до посаженого насіння на десятій день після висадки. Оскільки схожість є випадковою функцією, залежною від багатьох зовнішніх і внутрішніх чинників, результати наводяться по відношенню до кількості зерен, що зійшли, в контрольній партії, відповідній даному експерименту (рис. 3).

Приведена гістограма (рис. 3), схожість пшениці яка опромінена ЕМП НВЧ на частоті 7,44 ГГц в %, щодо контрольної партії. Такі ж закономірності характерні і при дії електромагнітного випромінювання на частотах 6,91; 7,01 і 7,27 ГГц, що також відносяться до "активних".

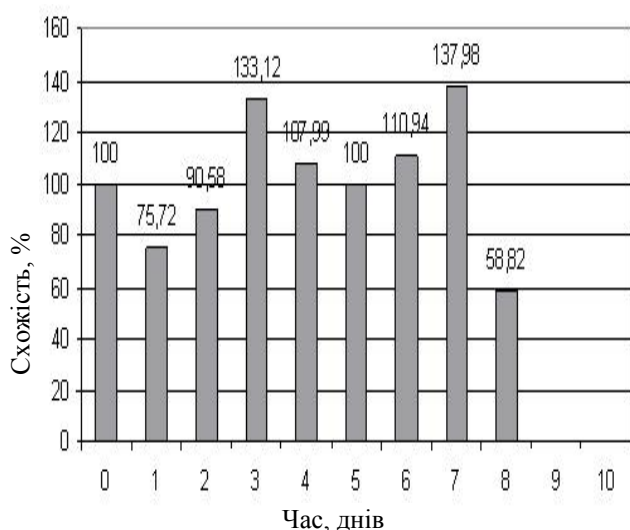


Рисунок 3 - Гістограма схожості опроміненої пшениці, в %, щодо контрольної партії ( $f=7,44$  ГГц)

У зв'язку з цим виникає припущення про те, що більшому кванту енергії ( $h\nu$ ) необхідно менше часу для активації біохімічних процесів, що протікають в зернах пшениці. Аналіз діаграми (рис. 3) показує, що через 3 дні після першого дня висадки, при якому згодом спостерігаються максимум схожості для кожної частоти, слідує ще такий же день - номер 7. Такий же ефект спостерігається і на частоті 7,27 ГГц.

В результаті встановлено, що електромагнітне випромінювання сантиметрового діапазону впливає, на встановлених резонансних частотах, на зерна пшениці як негативно (пригнічує схожість і інтенсивність розвитку), так і позитивно (прискорює схожість і розвиток паростків). При цьому біологічний ефект виявляється через деякий час після початку опромінювання.

**Висновки.** Таким чином, можна сказати, що діапазон частот, в якому можлива дія електромагнітної енергії на клітину, достатньо широкий. Зрозуміло, якщо клітини відносяться до різних біологічних об'єктів або його частин, відрізняються, тому для достатньо точного визначення діапазону частоти, необхідно знати електричні параметри внутрішнього її складу і мембрани окремо.

#### Список використаних джерел

1. Девятков Н. Д. Роль синхронизации в воздействии слабых сигналов миллиметрового диапазона волн на живые организмы // Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, А. С. Тагер. – М.: ИРЭ АН СССР, 1983. – С. 7 – 17.

2. Вилли К. Биология (Биологические процессы и

законы): Перевод с английского/ Н. М. Баевская, Ю. И. Лашкевич, Н. В. Обручева. – М.: Мир, 1975. – 824 с.

3. Смердов А. А. Вплив УВЧ опромінення на інтенсивність обмінних процесів у насінні // Вісник ПДАА / А. А. Смердов, С. І. Волков, А. А. Ландар.– №2. – 2008. – С. 172 – 174.

4. Установка для определения разрушающей дозы при ультрафиолетовом облучении микроорганизмов // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції "Світлотехніка й електроніка: історія, проблеми й перспективи" // А. Смердов, С. Аранчий, Т. Лапенко та ін. – Тернопіль, 2008. – С. 38 – 39.

5. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа / А. С. Пресман. – М.: Наука, 1968. – 256 с.

6. Рубин А. Б. Биофизика: В 2-х кн.: учеб. для биолог. спец. вузов / Рубин А. Б. – М.: Высш. шк., 1987. – 303 с.

7. Бецкий О. В. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты // Миллиметровые волны в биологии и медицине / О. В. Бецкий, Н. Н. Лебедева. – 2001. – №3. – С. 5 – 19.

8. Жулев В. И. Исследование электрических процессов в клеточных структурах // Биомедицинская электроника / В. И. Жулев, И. А. Ушаков. – 2001. – №7. – С. 30 – 37.

#### Аннотация

### ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Федюшко Ю. М., Федюшко М. П.

*Биологическая клетка рассмотрена в виде эквивалентной электрической схемы замещения и резонатора и определены резонансные частоты таких систем.*

#### Abstract

### AFFECTING OF HIGH-FREQUENCY RADIATION OF LOW INTENSITY BIOLOGICAL OBJECTS

Yu. Fediushko, M. Fediushko

*A biological cage is considered as an equivalent electric chart of substitution and resonator and resonance frequencies of such systems are certain.*