

УДК 631.371:612.317

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІООБ'ЄКТАМИ

В.О. Мунтян, доктор технічних наук

Д.М. Коваль, інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Розглянута взаємодія низькоенергетичного електромагнітного опромінювання з біологічними об'єктами та на основі теоретичних досліджень отримані залежності вірогідності утворення вільних радикальних пар у насінні гороху від часу дії зовнішнього електромагнітного випромінювання.

Діелектрична проникність, низькоенергетичне електромагнітне випромінювання, біологічні тканини, іонізація, вільні радикальні пари.

Економічна стабільність України залежить від кількості і якості продукції в промисловому і сільському господарстві. Кризовий стан в сільськогосподарському виробництві вимагає невідкладних заходів, пов'язаних із створенням нових електротехнологій на основі обробки біооб'єктів і інформаційними електромагнітними полями (ЕМП), з метою стимулювання їх продуктивності. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування спеціальних автоматизованих систем радіохвильового контролю для оцінки стану біооб'єктів, що знаходяться під впливом ЕМП. Полегшення оцінки механізмів біологічної дії інформаційних ЕМП можливе на основі методу діелектричної радіоспектроскопії. Оскільки в даний момент відсутні теоретичні основи для розробки методів і засобів радіохвильового неруйнівного контролю біооб'єктів при їх взаємодії з низькоенергетичними ЕМП, необхідно провести теоретичний аналіз впливу низькоенергетичного ЕМП на біооб'єкти на основі квантової теорії і визначити діапазон зміни діелектричної проникності (ДП) [1].

Найбільшого поширення набули надвисокочастотні (НВЧ) методи з діапазоном довжини хвиль від 1 до 100 мм. Використання радіохвиль дає можливість застосування особливостей низькоенергетичних (інформаційних) радіохвиль. Першим і основним завданням у області радіохвильового контролю складу і властивостей речовин є вимірювання діелектричної проникності. Більшість досліджень пов'язана з вимірюванням абсолютних значень діелектричної проникності матеріалів та полярних рідин і майже не розглянуті методи і системи вимірювань ДП біооб'єктів сільського господарства. Вимірювання змін ДП біооб'єктів під час їх взаємодії із різними фізичними факторами пов'язані із певними труднощами.

Мета досліджень – проведення теоретичних досліджень взаємодії низькоенергетичного ЕМП з біологічними об'єктами сільського господарства з триманням графічних залежностей.

Матеріал і методика досліджень. У процесі низькоенергетичного електромагнітного опромінювання біологічних тканин відбувається іонізація

молекул речовини і утворення радикальних пар. Таким чином, зовнішні низькоенергетичні електромагнітні поля роблять вплив на молекулярну структуру біологічних речовин, а, отже, і на електрофізичні їх характеристики – такі, як дійсна і уявна частина діелектричної проникності. Природно, що дані зміни спричинятимуть зміни характеристик досліджуваного об'єкту. У разі додавання зовнішнього електромагнітного поля відбувається дипольно-релаксаційна поляризація.

Результати досліджень. У ізотропних діелектриків будь-якого типу дійсна частина відносної діелектричної проникності середовища ε' має вигляд:

$$\varepsilon' = 1 + \chi = 1 + N\beta, \quad (1)$$

де N – число молекул в одиниці об'єму; β – поляризуємість молекули, а уявна частина

$$\varepsilon'' = \frac{Ne^2l}{2m\nu\omega\varepsilon_0}, \quad (2)$$

де ω – кругова частота падаючого на середовище електромагнітного поля; e – електричний заряд іонізованих молекул; l – довжина вільного пробігу іонів до зіткнення; m – маса іона; ν – швидкість теплового руху іона.

Під впливом зовнішнього електромагнітного поля число молекул в одиниці об'єму не збільшиться, але деякі з них іонізуються, їх поляризуємість зросте, отже, зросте поляризуємість і дипольний момент одиниці об'єму речовини, що буде еквівалентне збільшенню відносної діелектричної проникності. Те ж саме слід сказати і про уявну частину діелектричної проникності. Отже, знаючи рівень іонізації біологічного середовища, можна визначити тенденції в зміні її діелектричної проникності, звідки слідують зміни в її біофізичних характеристиках. У зв'язку з цим необхідно розглянути імовірнісну модель процесів, що відбуваються в біологічних середовищах під впливом зовнішніх ЕМП, що дає можливість визначити кількісні зміни електрофізичних характеристик біологічних тканин у результаті таких дій [1].

Середовище розглядається як система мікрочасток, що мають два енергетичних рівня W_1 і W_2 , які дорівнюють енергіям незбудженої молекули і молекули, що утворила радикальну пару, відповідно. Кожному енергетичному рівню відповідає своя населеність N_1 і N_2 , яка визначається величиною початкової концентрації C_i . Біологічний об'єкт знаходиться під впливом зовнішнього електромагнітного поля $\vec{E} = \vec{E}_0 e^{j\omega t}$ з амплітудою \vec{E}_0 і круговою частотою ω [1].

За наявності зовнішнього електромагнітного поля рівняння Шредінгера, що описує стан молекули, яка знаходиться на кожному з своїх енергетичних рівнів, стає нестационарним і набуває вигляду:

$$j \hbar \dot{\Psi} = \mathbf{H} \Psi, \quad (3)$$

де \mathbf{H} – гамільтоніан молекули; \hbar – постійна Планка; Ψ – хвильова функція даної дворівневої системи. Рішенням рівняння (3) буде вираз:

$$\Psi = C_1(t)\psi_1(\vec{r})\exp\left(-j\frac{W_1}{\hbar}t\right) + C_2(t)\psi_2(\vec{r})\exp\left(-j\frac{W_2}{\hbar}t\right), \quad (4)$$

де вірогідність знайти систему в одному із стаціонарних станів визначається квадратом модуля коефіцієнта $C_k(t)$.

Використовуючи ортогональність функцій $\psi_k(\vec{r})$, була одержана система диференціальних рівнянь для визначення коефіцієнтів $C_1(t)$ і $C_2(t)$:

$$\begin{cases} j\hbar \dot{C}_1(t) = C_2(t)H_{21} \exp(-j\omega_{21}t); \\ j\hbar \dot{C}_2(t) = C_1(t)H_{21} \exp(j\omega_{21}t), \end{cases} \quad (5)$$

де $H_{21} = H_{12} = -d_{21}E_0 \cos \omega t = -d_{12}E_0 \cos \omega t$; d_{12} – дипольний момент, що створюється даними енергетичними рівнями молекул.

Розв'язком системи (5) будуть наступні вирази:

$$|C_1(t)| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha t}; \quad (6)$$

$$|C_2(t)| = (\hbar/d_{21}E_0) \sqrt{A^2 (\Delta\omega + \alpha)^2 + 2AB(\Delta\omega^2 - \alpha^2) \cos \alpha t + B^2 (\Delta\omega - \alpha)^2}, \quad (7)$$

де:

$$A = - \left[2\sqrt{d_{21}^2 E_0^2 \hbar^6 p_1 p_2 \alpha^4 (\alpha + \Delta\omega)^2} + \hbar^2 \alpha (\alpha + \Delta\omega) \left[d_{21}^2 E_0^2 p_2 + \hbar^2 p_1 (\alpha^2 - \Delta\omega^2) \right] \right] \times \quad (8)$$

$$\times \frac{\sqrt{-2\sqrt{d_{21}^2 E_0^2 \hbar^6 p_1 p_2 \alpha^4 (\alpha + \Delta\omega)^2} + \hbar^2 \alpha^2 (d_{21}^2 E_0^2 p_2 + \hbar^2 p_1 (\alpha + \Delta\omega)^2)^2}}{\hbar^4 \alpha^4};$$

$$\frac{2\hbar^2 \alpha (\alpha + \Delta\omega) (-d_{21}^2 E_0^2 p_2 + \hbar^2 p_1 (\alpha + \Delta\omega)^2)}{2\hbar^2 \alpha (\alpha + \Delta\omega) (-d_{21}^2 E_0^2 p_2 + \hbar^2 p_1 (\alpha + \Delta\omega)^2)};$$

$$B = -\frac{1}{2} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{-2\sqrt{d_{21}^2 E_0^2 \hbar^6 p_1 p_2 \alpha^4 (\alpha + \Delta\omega)^2} + \hbar^2 \alpha^2 (d_{21}^2 E_0^2 p_2 + \hbar^2 p_1 (\alpha + \Delta\omega)^2)^2}{\hbar^4 \alpha^4}}; \quad (9)$$

$$\alpha = \sqrt{(\Delta\omega)^2 + \left(\frac{d_{21}E_0}{\hbar}\right)^2}; \quad (10)$$

$\Delta\omega$ – зсув від резонансної частоти переходу в збуджений стан; p_1 і p_2 – вірогідність незбудженого і збудженого стану молекули, відповідно.

Одержані вирази для $C_1(t)$ і $C_2(t)$ дозволяють знаходити вірогідність переходу молекули з незбудженого стану в іонізований p_{12} і навпаки p_{21} залежно від зсуву частоти зовнішнього електромагнітного випромінювання по відношенню до власної частоти випромінювання молекули. Тобто, (6) описує вірогідність переходу молекули з неіонізованого стану в іонізований або вірогідність зміни діелектричної проникності біоречовини від зсуву частоти

зовнішнього електромагнітного випромінювання по відношенню до частоти власного випромінювання молекул [2]. Проведені чисельні розрахунки із створення вільних радикальних пар у результаті дії зовнішнього низькоенергетичного електромагнітного поля на насіння гороху (рисунок 1, 2).

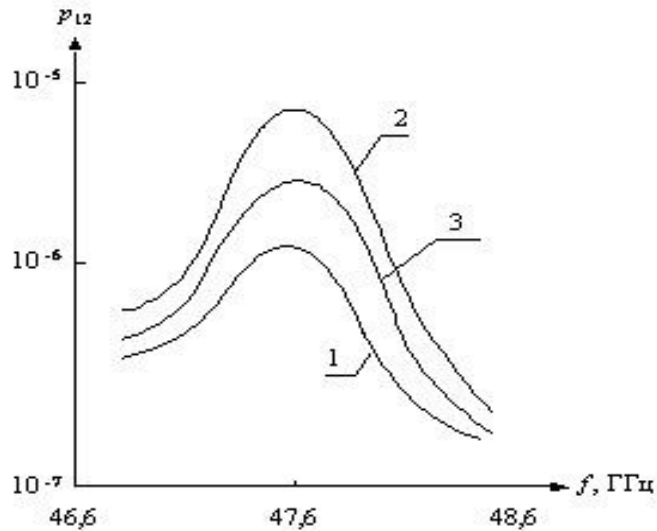


Рис. 1. Залежність вірогідності утворення вільних радикальних пар p_{12} для насіння гороху від частоти зовнішнього ЕМВ при $t=10$ хв.: 1 – $P=5$ мкВт/см²; 2 – $P=12$ мкВт/см²; 3 – $P=20$ мкВт/см²

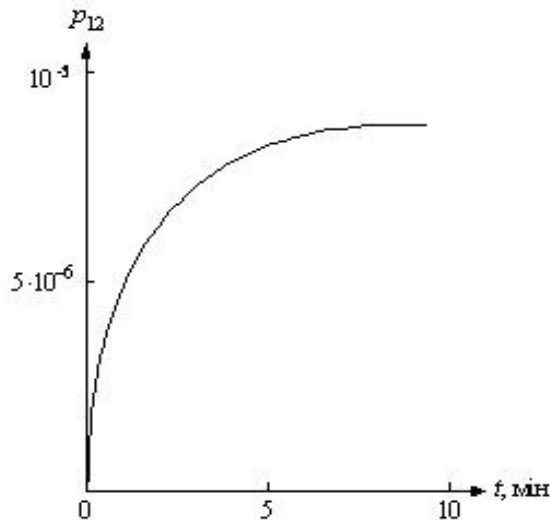


Рис. 2. Залежність вірогідності утворення вільних радикальних пар p_{12} в насінні гороху від часу дії зовнішньої ЕМВ при $P=10$ мкВт/см², $f=47,6$ ГГц

Висновки

Найбільш інтенсивне утворення вільних радикальних пар у насінні гороху настає на цілком конкретних частотах низькоенергетичного електромагнітного опромінювання, що визначається їх біофізичними характеристиками. Даний процес спричиняє зміну загального дипольного моменту речовини, і для насіння гороху добавка складає $2 \cdot 10^{-6}$ частину від загального дипольного моменту. Для визначення одержаної зміни у ϵ' чутливість відповідного пристрою повинна бути порядку 10^{-6} . Добавка до

уявної частини відносної діелектричної постійної речовини насіння гороху дорівнює $\Delta\varepsilon'' = 0,0009$. Оскільки на розглянутих вище частотах опромінювання насіння гороху $\varepsilon'' = 1,1$, для визначення даної зміни потрібна чутливість приладу не гірше 10^{-4} .

Список літератури

1. Хиппель А.Р. Диэлектрики и волны/ А.Р.Хиппель. – Пер. с английского. Под ред. проф. Н.Г.Дроздова. – Изд-во иностранной литературы. – Москва, 1966. – 439 с.

2. Мунтян В.А. Влияние электромагнитных излучений на образование свободных радикалов в биообъектах // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – Харьков: "СВЭКО". – 2006. – № 10. – С. 17 – 23.

Рассмотрено взаимодействие низкоэнергетического электромагнитного облучения с биологическими объектами и путем теоретических исследований получены зависимости вероятности свободных радикальных пар в семенах гороха от времени действия внешнего электромагнитного излучения.

Диэлектрическая проницаемость, низкоэнергетическое электромагнитное облучение, биологические ткани, ионизация, свободные радикальные пары.

Low-energy electromagnetic radiation interaction with biological objects is considered in given article and graphical dependences of the pea seeds free radical pairs formation probability are obtained on the basis of theoretical studies.

The dielectric constant, low-energy electromagnetic radiation, biological tissues, ionization, free radical pairs.