

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕМ ПОЛЯ ГГЦ ДІАПАЗОНУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Тарас Назаровець

Національний університет “Львівська політехніка”

У цій роботі ми припускаємо, що обертально-симетрична густина струму всередині еквівалентної циліндричної антени, яка представляє заземлене людське тіло, індукується гармонічною за часом вертикально поляризованою плоскою хвилею. Тричленне представлення осьового струму в недосконало провідній та навантаженій приймальній циліндричній антені [1] використовується для наближеного аналітичного виразу для повного індукованого осьового струму всередині еквівалентної циліндричної антени з висотою h , радіусом a та комплексною провідністю σ_{ω}^* і має вигляд [2]

$$I_{1z}(z) = U_0 u(z) + V_0 v(z), \quad (1)$$

де параметри U_0 і V_0 визначають характеристики падаючого поля, а функції $u(z)$ і $v(z)$ є характеристиками розподілу струму в антені в рамках тричленного представлення.

Степінь впливу електромагнітного випромінювання на організм людини визначається величиною питомого коефіцієнту поглинання (ПКП – specific absorption rate – SAR). Це значення суттєво залежить від частоти випромінювання, тому визначення частот, при яких ПКП має максимальні значення є важливим з точки зору зменшення впливу електромагнітного випромінювання на людський організм. Ми обмежимося випадком, коли вплив опору основи на людський організм відсутній, тоді другий доданок у формулі (1) відсутній і значення індукованого струму є $I_{1z}(z) = U_0 u(z)$. Підставивши це значення у формулу для визначення ПКП, можна знайти його максимальне значення відносно частоти ω , якщо продиференціювати ПКП відносно постійної поширення γ , яка пов'язана з кутовою частотою ω . Умовою максимуму є наступне співвідношення

$$\gamma h = k_2 h \sqrt{1 - \left| \frac{4\pi i z^i}{k_2 \zeta_0 \Psi_{dR}} \right|} \approx 1. \quad (2)$$

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2025», 27–29 травня 2025 р., Львів

Другим членом (його уявною частиною) під квадратним коренем можна знехтувати, оскільки значення $k_2 h$ є дійсним. Це дозволяє апроксимувати другий член у квадратному корені його амплітудою. Якщо підставити замість

z^i його значення $\frac{\kappa}{2\pi a \sigma_\omega^*} \frac{J_0(\kappa a)}{J_1(\kappa a)}$ та розглянути квадрат (2), ми отримаємо

$$k_2^2 - \left| \frac{2i}{\zeta_0 \Psi_{dr}} \frac{\kappa}{\sigma_\omega^*} \frac{J_0(\kappa a)}{J_1(\kappa a)} \right| \frac{k_2}{a} - \frac{1}{h^2} \approx 0. \quad (3)$$

Можна перевірити, що для розглянутих значень радіуса a та комплексної провідності σ_ω^* використаної моделі людського тіла, в розглянутому діапазоні частот, значення в останній формулі прямує до 0,12. Частотно-залежні параметри під модулем в (3) є функціями комплексної провідності частин людського тіла, основну частину якого складають м'язи, а їх комплексна провідність має постійну величину в розглянутому діапазоні частот. Крім того, значення функцій Бесселя змінюються не суттєво для значення κ , що характерно для нашої моделі. Тому ми можемо замінити величину під модулем його наближеним значенням 0.12. Використовуючи співвідношення $k_2 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = \omega / c = 2\pi f_{res} / c$, та замінивши радіус a з використанням співвідношення $W = \rho \pi a^2 h$, що визначає вагу W людини, отримуємо

$$f_{res} \approx \frac{c}{4\pi} \left[1.742 \left(\frac{\pi h}{W} \right)^{1/2} + \left(3.0345 \frac{\pi h}{W} + \frac{4}{h^2} \right)^{1/2} \right], \quad (4)$$

де c – швидкість світла. Отримане співвідношення для значень резонансної частоти f_{res} є досить зручним, оскільки дозволяє визначати резонансні значення (і відповідно максимальні величини ПКП), використовуючи тільки фізичні параметри ваги W і зросту h людини.

1. R. W. P. King and T. T. Wu. The imperfectly conducting cylindrical transmitting antenna // IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 14, no. 5, pp. 524–534, 1966.
2. B. Kibret, A. K. Teshome, and D. T. H. Lai. Human body as antenna and its effect on human body communications // Prog. Electromagn. Res., vol.148, pp. 193–207, 2014.

DETERMINATION OF THE IMPACT OF EM FIELD RADIATION IN THE GHz RANGE ON THE HUMAN BODY

The values of the resonant frequencies of electromagnetic radiation in the GHz range are determined through the known physical parameters of the human body, namely its weight and height.

<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2025>