

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДІАПАЗОНУ 4G/5G НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Тарас Назаровець

Національний університет “Львівська політехніка”

Ефекти впливу електромагнітного (ЕМ) поля оцінюються на основі різних експериментальних моделей у лабораторних умовах, а також шляхом моделювання людського організму. Такі ефекти викликають зміни у внутрішньоклітинних з'єднаннях і змінюють іонну щільність та проникність кісткової матерії, зростання збудливості клітини або викликання реакції клітини на стреси. Вищевказане підтверджує, що визначення потужності ЕМ поля в приміщеннях, де проводять основний час багато дослідників, та вивчення впливу ЕМ випромінювання на організм людини є актуальною проблемою. В цій роботі ми розглянемо електродинамічну модель людського організму, яка дозволяє визначити рівень опромінення електромагнітного поля частотами 4G/5G діапазону.

Ми припускаємо, що густина струму всередині еквівалентної циліндричної монопольної антени, що моделює людське тіло в стоячому положенні, індукує гармонічну з часом вертикально поляризовану плоску хвилю. Нехай висота антени дорівнює l , її радіус дорівнює a , а тіло характеризується комплексною провідністю σ_b . Загальний індукований осьовий струм всередині еквівалентної антени становить.

$$I_z = V_0^\varepsilon v(z) + U_0 u(z), \quad (1)$$

де

$$V_0^\varepsilon = -I_{sc}(0) \frac{2Z_A Z_L}{2Z_A + Z_L}, \quad U_0 = \frac{E_0}{k_2}, \quad (2)$$

$$v(z) = \frac{2i\pi k_0}{\zeta_0 \gamma \Phi_{dR} \cos(\gamma h)} \sin \gamma(h - |z|) + T_U (\cos(\gamma z) - \cos(\gamma h)) + T_D (\cos(\frac{1}{2} k_0 z) - \cos(\frac{1}{2} k_0 h)), \quad (3)$$

**Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2024»,
27–29 травня 2024 р., Львів**

$$u(z) = \frac{4i\pi}{\zeta_0} \left[H_U(\cos(\gamma z) - \cos(\gamma h)) + H_D(\cos(\frac{1}{2}k_0 z) - \cos(k_0 h)) \right], \quad (4)$$

де E_0 (вимірюється в Vm^{-1}) – електричне падаюче поле на поверхні тіла (антени), k_0 – хвильове число вільного простору, $Z_A = 1/(2v(0))$ (вимірюється в Ω) – імпеданс точки прикладання тіла, якщо він вимірюється на поверхні землі. $Z_L(\Omega)$ – опір навантаження на землю тіла, $I_{sc} = U_0 u(0)$ – це струм на поверхні землі, якщо немає сторонніх джерел, а ζ_0 – імпеданс вільного простору. Метод визначення коефіцієнтів T_U, T_D, H_U, H_D , і Ψ_{dR} подано в [1]; вони є інтегралами певного типу, які можна порахувати чисельно.

Величина енергії, яка поглинається людським тілом $WBA - SAR_{cyl}$ визначається як загальна середня радіочастотна потужність, яка поглинається антеною (тілом людини), поділена на її загальну масу. Згідно з цим правилом, загальна усереднена отримана потужність на одиницю маси становить

$$WBA - SAR_{cyl} = \frac{P_{dis}}{W_c} = \frac{r_i}{2\pi\rho a^2 l} \int_0^l |I_z(z)|^2 dz, \quad (5)$$

де ρ – питома густина тіла, вага $W_c = \rho a^2 l$.

Параметри моделі, які тут наведено, можуть бути використані як оптимізаційні, або для перевірки коректності моделі при порівнянні з іншими підходами, як, наприклад, FDTD-метод, запропонований у [2]. Іншою важливою роллю цих параметрів є застосування для визначення резонансних частот, що забезпечують екстремуми енергії, яка поглинається тілом.

1. *Yanase K., Hirata A.* Effective resistance of grounded humans for whole-body averaged SAR estimation at resonance frequencies // Prog. Electromagn. Res. B. 2011. – **35**, pp. 15–27.
2. *Dimbylow P.* Resonance behaviour of whole-body averaged specific energy absorption rate (SAR) in the female voxel model, NAOMI. // Phys. Med. Biol. 2005. – **50**, no.17. – p. 4053.

**SIMULATION OF THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION
OF THE 4G/5G RANGE ON THE HUMAN BODY**

The aim of paper is to estimate the electromagnetic (EM) field radiation on the human body in the range of 4G/5G operations. The analytical approach consists of application of concept of the equivalent cylindrical monopole antenna presenting grounded standing human. The analytical formulas, allowing to determine the EM field exposure are derived.