УДК 621.386.504.7

Б.А.ПАНЧЕНКО

Уральский государственный технический университет – УПИ, г.Екатеринбург

О РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МОЩНОСТИ, ПОГЛОЩЕННОЙ МОДЕЛЬЮ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА

Получены расчетные соотношения для определения поглощенной мощности в слоях модели головы человека под действием электромагнитного поля, излученного антенной персонального средства связи.

The problem of power absorption's evaluation in the layers of human head's model was solved. The model of the human's head is considered to be affected by the electromagnetic field of mobile communicational device's antenna.

Сравнительная оценка поглощенной мощности ведется по величине удельного коэффициента поглощении (SAR), который учитывает не только интенсивность электрического поля, но и характеристики материала слоев модели:

$$\mathrm{SAR} = \frac{\sigma|E|^2}{2\rho},$$

где E – напряженность электрического поля; σ – проводимость вещества слоя модели; ρ – удельная плотность вещества слоя.

Параметры σ, ρ берутся для каждого слоя модели головы и зависят от частоты [1].

Напряженность электрического поля определяется в результате решения задачи электромагнитного возбуждения многослойной модели. Для случая возбуждения электрическим вибратором с моментом $I^{\vartheta}l$ решение задачи приведено в работе [2].

Составляющие электрического поля в сферической системе координат записываются следующим образом:

$$E_\theta(a_p, a) = E_{\max}\cos(\varphi)\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2n+1}{n(n+1)}\times$$

$$\times\left[\tau_n(\theta)\widetilde{K}_n^E + \pi_n(\theta)\widetilde{K}_n^H\right];$$

$$E_\varphi(a_p, a) = -E_{\max}\sin(\varphi)\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2n+1}{n(n+1)}\times$$

$$\times\left[\tau_n(\theta)\widetilde{K}_n^H + \pi_n(\theta)\widetilde{K}_n^E\right],$$

где

$$E_{\max} = i\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\frac{I^Y k_0 l}{4\pi}\frac{1}{a};\quad \tau_n(\theta) = \frac{\partial P_n^1(\cos(\theta))}{\partial\theta};$$

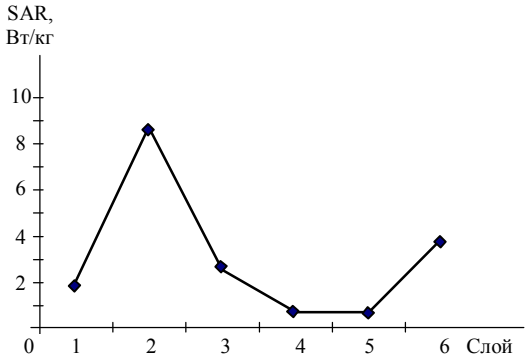
$$\pi_n(\theta) = \frac{P_n^1(\cos(\theta))}{\sin\theta};$$

$$\widetilde{K}_n^E = \frac{\left[\dfrac{i\vec{\tilde{Z}}(a_p)}{Z_{0p}}\right]\left[\dfrac{h_n^{(2)'}(k_0 a)}{h_n^{(2)}(k_0 a)}\right]T_{p+1}^E}{k_0 a_p\sqrt{\varepsilon'(a_p)}i\vec{\tilde{Z}}(a)};$$

$$\widetilde{K}_n^H = \frac{T_{p+1}^H}{k_0 a_p i\vec{\tilde{Y}}(a)},$$

$k_p = k_0\sqrt{\varepsilon'_p}$, $h_n^{(2)}(x)$, $h_n^{(2)'}(x)$ – сферическая функция Ханкеля и ее производная в нормировке Швацшильда [3]; ε'_p – относительная диэлектрическая проницаемость слоя; $\vec{\tilde{Z}}(a) = \tilde{Z}(a)\cdot\vec{Z}(a)$ и $\vec{\tilde{Y}}(a) = \tilde{Y}(a)\cdot\vec{Y}(a)$ – направленные сопротивления и проводимости; T_{p+1}^E и T_{p+1}^H – коэффициенты трансформации, выражения для которых приведены в работе [2].

Расчет SAR при частоте 900 МГц приведен на рисунке.



Распределение SAR по слоям шестислойной модели головы человека

Удельный коэффициент поглощения является локальной характеристикой электромагнитного поглощения. Представляет интерес также электромагнитная мощность, поглощенная во всей структуре или в отдельных слоях, например в кожном или костном покрове.

Поглощенная мощность определяется стандартным способом, путем интегрирования модуля вектора Пойтинга на границах слоев. Например, мощность, рассеянная в первом слое, $\Delta P_1 = \vec{P}_1 - \vec{P}_1$.

Мощность, рассеянная во втором слое,

$$\Delta P_2 = \vec{P}_2 - \vec{P}_2 - \Delta P_1,$$

где $\vec{P}_p$, $\vec{P}_p$ – мощность, входящая в слой и выходящая из слоя p.

Расчет $\vec{P}_p$ и $\vec{P}_p$ можно производить двумя способами. Во-первых, можно использовать направленные модальные импедансы и адмитансы. Например, для волн электрического типа

$$\vec{Z}_0(r) = i\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{h_n^{(2)'}(kr)}{h_n^{(2)}(kr)};$$

$$\vec{Z}_0(r) = -i\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{h_n^{(1)'}(kr)}{h_n^{(1)}(kr)}.$$

Второй подход предусматривает запись характеристических функций Грина в виде волн, бегущих в положительном и отрицательном направлениях радиальной оси сферической системы координат:

$$E = \vec{E} + \vec{E}; \quad H = \vec{H} + \vec{H}.$$

Затем используется интегрирование модуля вектора Пойтинга по сферическим поверхностям радиусов для каждого слоя. Результаты интегрирования получаются достаточно компактными благодаря использованию условий ортогональности полиномов Лежандра.

На данном этапе заканчивается отладка программы для расчета поглощенной мощности по слоям модели. Результаты исследований планируется опубликовать в отчетных материалах по проекту в рамках подпрограммы «Экология и рациональное природоведение» НТП «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Панченко Б.А.* Распределение электромагнитного поля мобильного телефона / Б.А.Панченко, С.А.Козлов // Труды Второй науч.-техн. конф. / РУО АИН РФ. Екатеринбург, 2000.

2. *Panchenko B.* Interaction between the mobile phone's antenna and user. International symposium on antennas / B.Panchenko, S.Kozlov. Nice, 2002.

3. *Хенл Х.* Теория дифракции / Х.Хенл, А.Мауэ, К.Вестпфаль. М.: Мир, 1964.