

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЕГО ОРГАНОВ

И.А. Черепнев

(представил д.т.н., проф. Б.И. Макаренко)

Рассмотрены возможности получения информации о состоянии организма человека, на основе предложенной математической модели его собственных электромагнитных излучений сверхвысокочастотного диапазона.

Интенсивное развитие в последнее время исследований в области создания как новых моделей, так и принципиально новых типов медицинских приборов и систем ставит перед их разработчиками задачи не только чисто технического, но и теоретического плана. При этом следует отметить, что решение теоретических задач, т.е. моделирование с целью получения информации о процессах, происходящих в организме человека, существенно отличается и по сложности, и по физической сущности от моделей для объектов неживой природы.

Наиболее ярко это проявляется при создании медицинских диагностических приборов, регистрирующих собственное или рассеянное электромагнитное излучение организма человека в целях термографирования его органов. Для того, чтобы данная регистрация давала не только формальную картину изменения температур по поверхности и внутри тела человека, но и позволяла увязывать существующие электромагнитные излучения с электрофизическими параметрами тканей организма (т.е. с их физиологическим состоянием), необходимо иметь аналитические выражения, которые связывают изменение амплитуды и фазы контролируемых излучений с соответствующими изменениями в состоянии тканей, ответственных за эти излучения.

Предполагая, что большинство органов человека имеют форму, близкую к цилиндрической и сферической, то для создания метода определения излученных и рассеянных ими полей предлагается использовать модель, предложенную в [1]. В этом случае внешнее по отношению к органам человека пространство будем считать однородным. Оно характеризуется постоянными диэлектрическими и магнитными проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\mu_1$ . Для воздуха:

$$\epsilon_1 \approx \epsilon_2 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \frac{\Phi}{M};$$

$$\mu_1 \approx \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_{\text{H}}}{\text{M}}.$$

Применяемые далее обозначения имеют следующий смысл:  $\vec{E}(\mathbf{t})$ ,  $\vec{H}(\mathbf{t})$  – амплитуды излученных или рассеянных электромагнитных полей;  $\omega$  – их частоты;  $\vec{k}$  – волновой вектор;  $\vec{r}$  – радиус-вектор рассматриваемой точки;  $\vec{E}(\mathbf{t})$  и  $\vec{H}(\mathbf{t})$  связаны между собой посредством сопротивления окружающей тело среды.

Итак, считая излученные организмом человека электромагнитные поля (ЭМП) плоскими, в случае исследуемого органа цилиндрической формы получаем в нулевом приближении формулы, пригодные для практических расчетов излученных биообъектами полей:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_z^{\text{расс}} = \mathbf{a}_0^{\text{расс}} \mathbf{H}_0^{(2)}(\mathbf{k}_1 \mathbf{r}); \\ \mathbf{H}_\varphi^{\text{расс}} = \frac{i \mathbf{k}_1 \mathbf{a}_0^{\text{расс}} \mathbf{H}_1^{(2)}(\mathbf{k}_1 \mathbf{r})}{\omega \mu_0}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mathbf{a}_0^{\text{расс}}$  – коэффициент рассеяния конкретного органа человека цилиндрической формы, учитывающий его электрофизические параметры и возможную неоднородность структуры по радиусу;  $\mathbf{H}_0^{(2)}(\mathbf{k}_1 \mathbf{r})$  и  $\mathbf{H}_1^{(2)}(\mathbf{k}_1 \mathbf{r})$  – соответственно функции Ханкеля второго рода нулевого и первого порядка.

При излучении электромагнитной волны органом человека сферической формы с произвольной внутренней структурой решение получено с использованием сферической системы координат  $(\mathbf{r}, \varphi, \theta)$  [2]. Учитывая, что основной вклад в величину рассеянных биообъектом полей делает первая гармоника поля, вычислена ее величина. Компоненты полей первой гармоники имеют вид:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_r^{\text{расс}} = \frac{\mathbf{e}_{111}^{\text{расс}}}{2r} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta \cos \varphi; \\ \mathbf{E}_\varphi^{\text{расс}} = -\frac{\mathbf{e}_{g11}^{\text{расс}}}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta \cos \varphi; \\ \mathbf{E}_\theta^{\text{расс}} = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} (\mathbf{e}_{g11}^{\text{расс}} \cos \theta \cos \varphi - \mathbf{e}_{c11}^{\text{расс}} \sin \varphi); \end{cases} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_r^{\text{расс}} = \frac{h_{111}^{\text{расс}}}{2r} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta \sin \varphi; \\ H_\varphi^{\text{расс}} = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \left( h_{g11}^{\text{расс}} \cos \varphi - h_{c11}^{\text{расс}} \cos \theta \sin \varphi \right); \\ H_\theta^{\text{расс}} = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \left( h_{g11}^{\text{расс}} \cos \theta \sin \varphi + h_{c11}^{\text{расс}} \cos \varphi \right), \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $e_{111}^{\text{расс}}$ ,  $e_{g11}^{\text{расс}}$ ,  $e_{c11}^{\text{расс}}$ ,  $h_{111}^{\text{расс}}$ ,  $h_{g11}^{\text{расс}}$ ,  $h_{c11}^{\text{расс}}$  – функциональные множители, характеризующие зависимость компонент рассеянных полей от расстояния до центра сферического объекта, а также связанные с электрофизическими характеристиками излучателя.

Для оценки результатов математического моделирования рассеяния ЭМП сантиметрового и миллиметрового диапазонов на различных элементах организма человека был проведен их численный анализ на основе выражений (1-2). Был рассмотрен случай рассеяния ЭМП на туловище (цилиндр) и голове (сфера), как на самых информативных для данных моделей элементах организма. Для расчета рассеянных электромагнитных полей, который выполнен в данной работе, в соответствии со сказанным выше вводится такая характеристика тканей, как "цилиндр с низким содержанием воды", "сфера с высоким содержанием воды" и т.д.

С учетом этих обстоятельств необходимо иметь в виду, что мышцам и кровеносным сосудам соответствуют ткани с высоким содержанием воды, а жировым слоям и кости – с низким содержанием воды. Кроме того, различные участки туловища и головы могут рассматриваться как ткани с различным содержанием воды, что и отражено в проведенных расчетах.

Радиус рассматриваемых объектов  $R$  для цилиндра брался равным 20 см, а для сферы – 10 см. При этом конкретные значения действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости брались из справочника [3]. При численном решении дифференциальных уравнений, соответствующих неоднородному цилиндру и сфере, зависимость диэлектрической проницаемости от радиуса представлена в виде полиномов четырнадцатой степени. Рассмотрена частота ЭМИ 10 ГГц, что соответствует длине волны 3 см. Амплитуда электрической составляющей падающего поля бралась равной единице, что позволяет легко перейти к любому конкретному значению напряженности путем умножения на соответствующий множитель. На графиках (рис. 1-4) представлены зависимости квадрата электрической составляющей рассеянного поля и его фазы от возможных изменений действительной  $\epsilon'$  или мнимой  $\epsilon''$  части относительной диэлектрической проницаемости рассматриваемых органов. Все расчеты произведены для точек, удаленных от поверхности тела человека на 25 см.

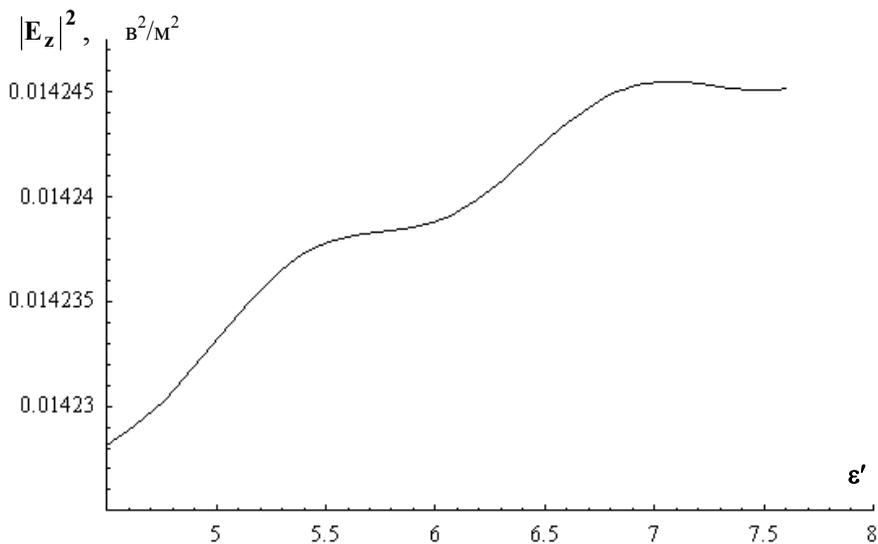


Рис. 1. Зависимость  $|E_z|^2$  от изменения действительной части диэлектрической проницаемости тканей при  $f = 10$  ГГц (цилиндр)

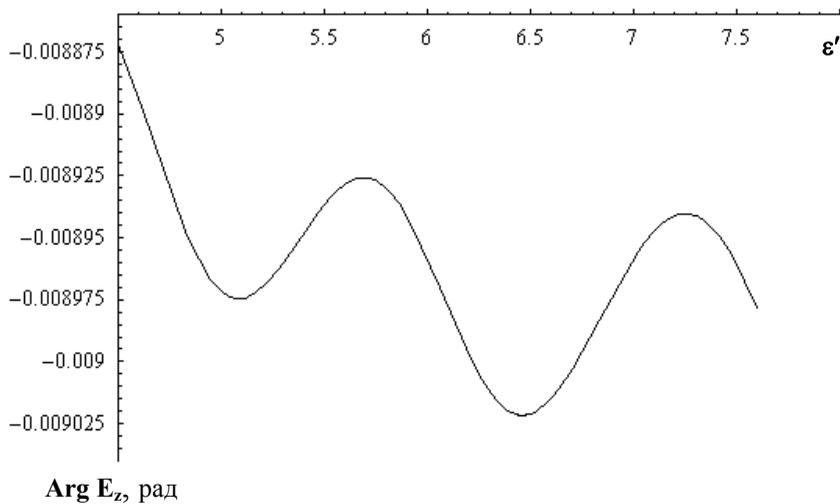


Рис. 2. Зависимость фазы  $E_z$  от изменения действительной части диэлектрической проницаемости тканей при  $f = 10$  ГГц (цилиндр)

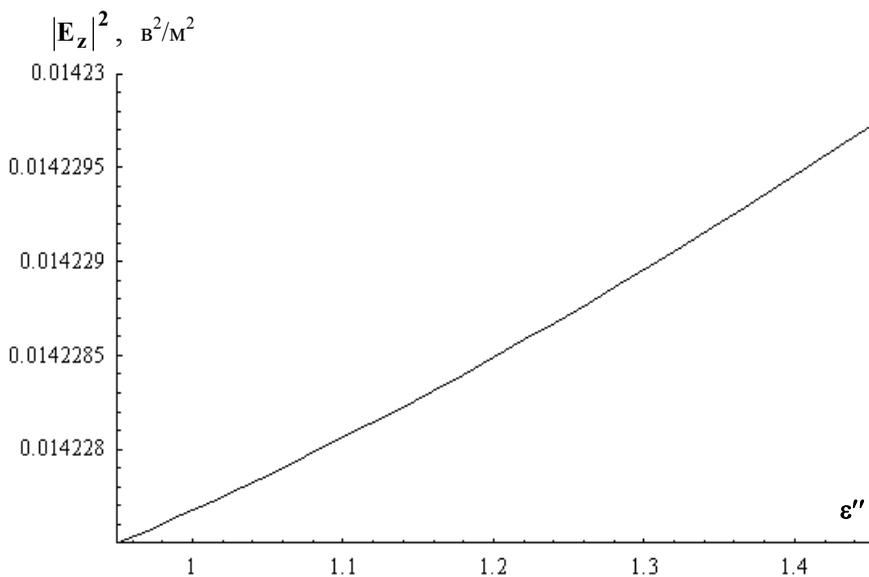


Рис. 3. Зависимость  $|E_z|^2$  от изменения мнимой части диэлектрической проницаемости тканей при  $f = 10$  ГГц (цилиндр)

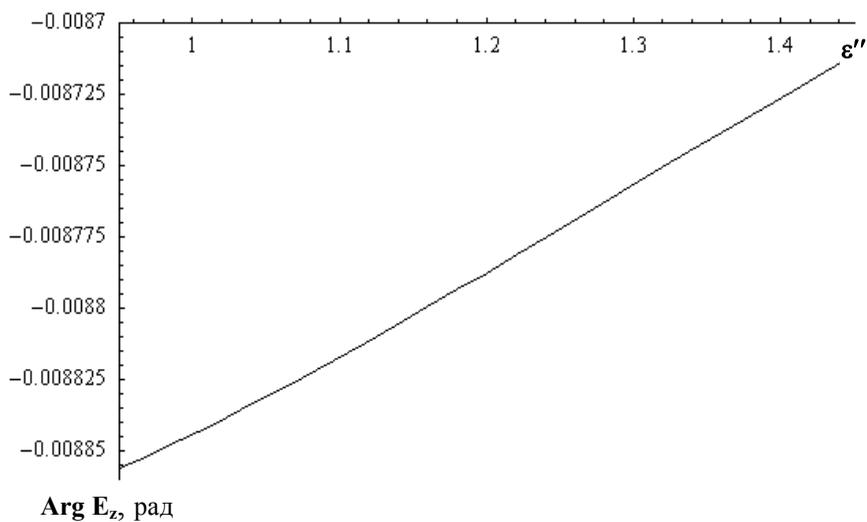


Рис. 4. Зависимость фазы  $E_z$  от изменения мнимой части диэлектрической проницаемости тканей при  $f = 10$  ГГц (цилиндр)

На рис. 1 - 4 изображены изменения параметров ЭМП на частоте 10 ГГц, рассеянных на органах человека цилиндрической формы.

Из рис. 1 - 2 видно, что изменение действительной части относительной диэлектрической проницаемости тканей от 4,5 до 8 приводит к периодическому изменению как рассеянной на цилиндре мощности, так и фазы рассеянного ЭМИ с частотой 10 ГГц. Изменение мнимой части относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне 0,96...1,44 приводит практически к линейному изменению мощности и фазы рассеянного излучения (рис. 3 - 4).

Проведенные расчеты показывают ярко выраженную зависимость амплитуды и фазы рассеянных на органах человека ЭМП от частоты этого поля, изменения электрофизических характеристик тканей органа, а также от формы и структуры рассеивающего элемента организма. Кроме того, из расчетов следует, какими параметрами должны обладать радиометры, производящие картирование различных частей организма человека на разных частотах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пиротти Е.Л., Черепнев И.А. Методика расчета рассеянных электромагнитных полей на системах организма человека цилиндрической и сферической формы // Збірник наук. праць. – Харків: ХВУ. – 2000. – Вип. 2(28). – С. 139 - 142.
2. Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 860 с.
3. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с.

*Поступила в редколлегию 13.08.2001*

---