

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ КОЖУ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ В ВИДЕ ПОР**

**Ильиных А.Б., Банников И.А., Мительман Ю.Е., Борисов В.И.**

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия (620002 Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32), e-mail: obcessedman@gmail.com*

**Аннотация:** В данной работе рассмотрены особенности прохождения электромагнитной волны с частотой 2,4 ГГц через кожу человека с неоднородностями в виде пор. Оценена величина напряженности электрического поля под неоднородностью для различных материалов заполнения поры кожи. Определено распределение напряженности электрического поля в сечении модели при прохождении электромагнитной энергии через пору. По полученным результатам сделан вывод, что участки кожи, содержащие неоднородности в виде пор, лучше пропускают электромагнитное излучение на частоте 2,4 ГГц чем участки кожи без неоднородностей.

Ключевые слова: многослойная модель кожи, биологически активная точка (БАТ)

## **THE INVESTIGATION OF THE PERVASION OF AN ELECTROMAGNETIC WAVE THROUGH HUMAN SKIN WITH SURFACE DISCONTINUITY IN THE FORM OF PORE**

**Ilinykh A.B., Bannikov I.A., Mitelman Y.E., Borisov V.I.**

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002 Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 32), e-mail: obcessedman@gmail.com*

**Abstract:** In this paper, the features of the pervasion of electromagnetic waves on a 2.4 GHz frequency in the model of human skin with discontinuity in the form of pore is considered. The electric field distribution under the pore for different materials filling the pore was found. The distribution of the electric field in the cross section of the model with electromagnetic energy passing through the pore was obtained. By the results obtained it was concluded that skin with pores better transmits electromagnetic radiation at a frequency of 2.4 GHz than the skin without any discontinuities.

Key words: multilayer skin model, biological active point (BAP)

### **Введение**

В современном мире человека окружает множество источников электромагнитного излучения (ЭМИ) различной мощности и конфигурации. С целью ограничения вредного воздействия ЭМИ на здоровье человека, разработаны государственные и международные стандарты, регламентирующие максимально допустимые значения мощности излучения, поглощаемого тканями человека [1, 2]. Данные ограничения в большей степени касаются источников излучения, оказывающих сильное тепловое воздействие на биологические ткани. Например, ЭМИ базовых станций систем сотовой связи или мобильных телефонов,

не отвечающих стандартам безопасности, могут являться причиной заболеваний [3]. Так при достаточно большой величине удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR), равном от 5 до 7  $\text{мкВт/см}^3$ , наступают необратимые изменения в тканях сердца и мозга [4].

Известно, что различные расстройства здоровья проявляются и при сравнительно небольших мощностях поглощенного излучения [5]. Дело в том, что слабые ЭМИ, особенно модулированные, могут коррелировать с биологическими процессами в организме [6]. Например, при небольшой величине SAR 0,002  $\text{мкВт/см}^3$  могут наблюдаться расстройства сна или слабость [7].

При исследовании механизмов взаимодействия маломощного ЭМИ, способного оказать влияние на биологические процессы в организме, представляет интерес рассмотрение прохождения ЭМИ через неоднородности кожи в виде пор, так как под данными неоднородностями находится большее число нервных окончаний, чем под кожей без таких неоднородностей [8].

### **Цель исследования**

В настоящей работе рассмотрены особенности прохождения ЭМИ дециметрового диапазона длин волн через кожу с порами. Выбранная для исследования частота – 2,4 ГГц, входит в рабочий диапазон передатчиков Wi-Fi и СВЧ печей – широко распространенных источников ЭМИ, поэтому интересна для исследования.

В статьях [10, 11] анализируются результаты воздействия электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на неоднородности кожи человека, называемые биологически активными точками (БАТ), а также рассматриваются подходы к построению эквивалентных электрической схем таких неоднородностей. Показано, что поверхность кожи вблизи неоднородности в виде БАТ более восприимчива к воздействию электромагнитного излучения. В этих статьях анализ воздействия проводился схемотехническими методами, которые не позволяют получить информацию о распределении поля в пространстве. В нашей статье анализ проводится методами объемного электродинамического моделирования, что позволяет лучше проанализировать рассеянное на коже человека, содержащей неоднородность, электромагнитное поле.

### **Методы и материалы**

Структура исследуемой модели, построенной с учетом [8–11], в сечении, изображена на рис. 1. Сама неоднородность представляет собой цилиндр с высотой 1 мм и диаметром 0,1 мм, состоящий из биологического материала. Данный цилиндр встроен в кожный покров – эпидермис и дерму, толщиной 1 мм. Под кожным покровом располагается гиподерма – подкожная жировая клетчатка [12]. Продольные размеры модели выбираются на порядок больше диаметра поры, глубина слоя гиподермы выбирается таковой, чтобы исключить наличие отраженного от границы раздела гиподерма-воздух поля. Непосредственно под порой располагаются нервные окончания.

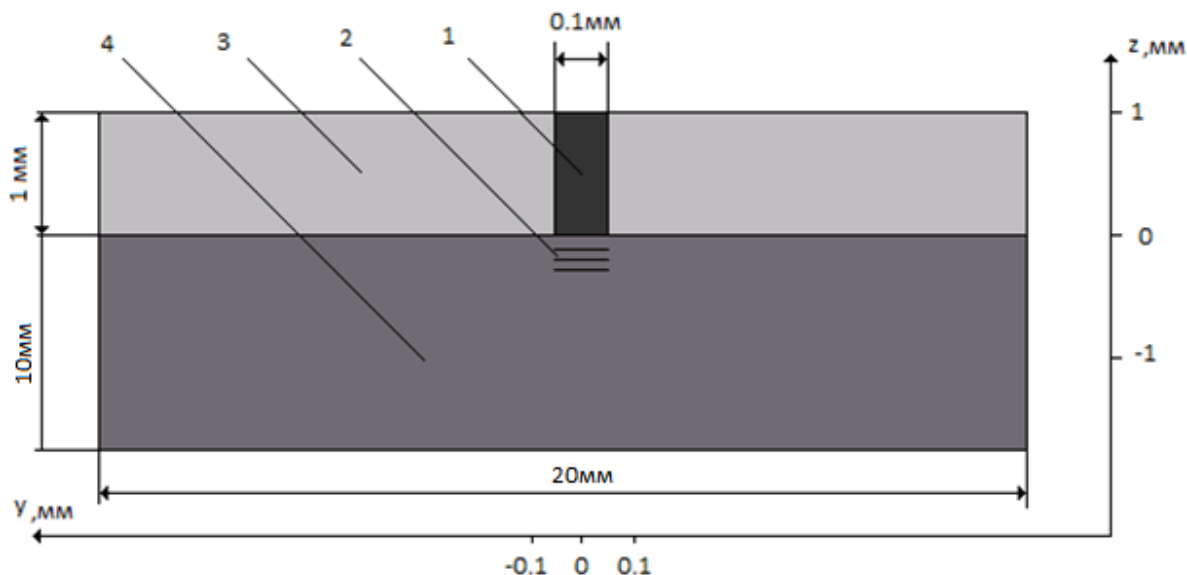


Рис. 1 Исследуемая модель: 1 – пора, 2 – нервные окончания, 3 – кожа, 4 - гиподерма

В качестве источника используется плоская однородная волна с линейной поляризацией, так как источники излучения. Вид модели в сечении с видом распределения напряжённости электрического поля (ЭП) в воздухе изображён на рис. 2.

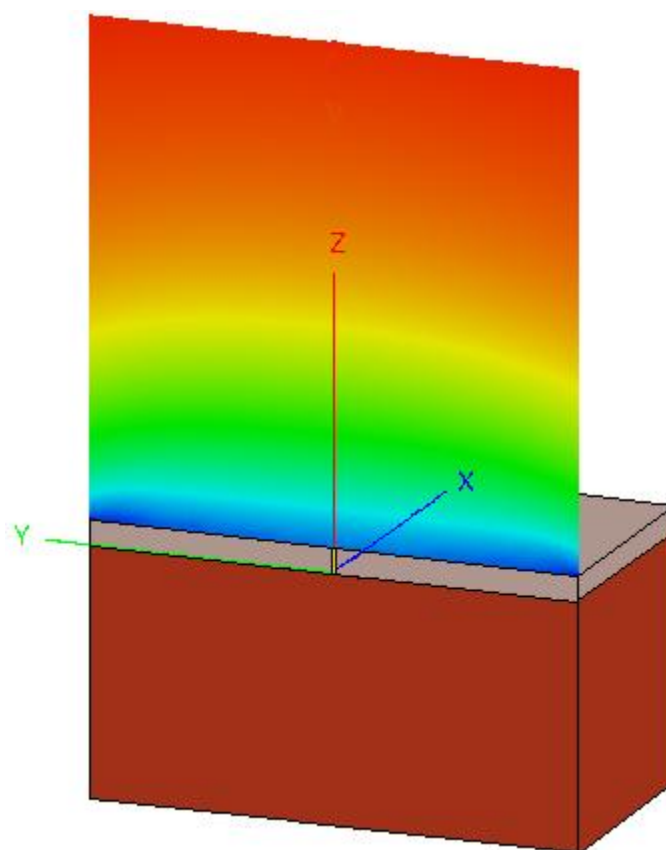


Рисунок 2. Вид модели в сечении с видом распределения напряжённости ЭП в воздухе

В работах [8, 9] предлагается модель неоднородности, заполненной коллагеном, называемая биологически активной точкой (БАТ). Также неоднородностями в коже могут являться жировые и потовые железы и их протоки [8]. Тогда в качестве заполнения неоднородности в модели используются жир, соленая вода и воздух, в случае неактивной потовой железы.

Модель рассчитывается гибридным методом, сочетающим методы конечных элементов (FEM) и моментов (MoM) в программе трехмерного электромагнитного моделирования FEKO. Моделирование проводится для различных вариантов заполнения поры и для случая кожи без поры. Параметры биологических тканей, используемых в модели, взяты из [13] и приведены в табл. 1. В качестве параметров пота взяты параметры соленой воды.

Таблица 1. Параметры используемых биологических материалов

Вид ткани	Проводимость $\sigma$ , См/м	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$
Кожа	1,44	38,063
Коллаген	1,644	43,21
Гиподерма	0,13344	5,1563
Жир	0,10235	5,2853
Пот	4	81
Воздух	1	1

### Результаты

Зависимости величин напряженности ЭП в сечении от координаты  $y$  на глубине 0,001 мм, т.е. непосредственно в месте расположения нервных окончаний (рис. 1) для различных вариантов заполнения поры, и в случае кожи без поры приведены на рис. 3. Несмотря на то, что размеры поры много меньше длины волны, при заполнении материалом с проводимостью, большей проводимости кожи, наблюдается уменьшение величины напряженности ЭП под порой по сравнению с кожей без поры, а с меньшей проводимостью – увеличение.

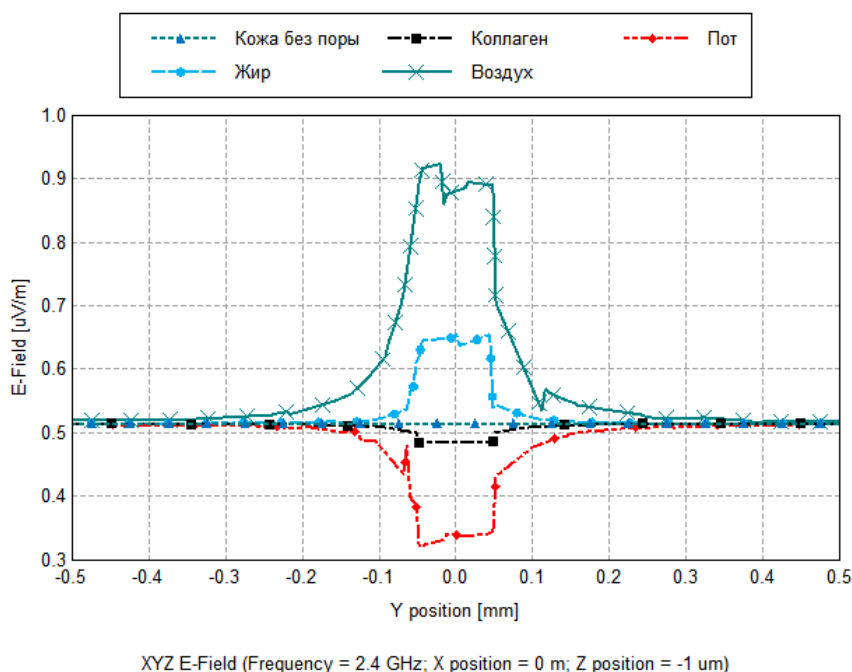


Рис. 3 Зависимость величины напряженности электрического поля от координаты  $y$  различных вариантов заполнения поры

Для сравнительного анализа зависимости напряженности ЭП под порой от материала заполнения составлена табл. 2. Самое значительное увеличение уровня напряженности ЭП по сравнению со значением, полученным при моделировании кожи без неоднородности, наблюдается при выборе воздуха в качестве материала, заполняющего неоднородность, и

составляет 78%. При использовании в качестве материала поры жира, наблюдается увеличение уровня напряжения ЭП поля на 25%. В случаях, когда пора заполнена коллагеном или потом, наблюдается уменьшение значения напряженности ЭП под порой.

Таблица 2. Значения напряженности электрического поля под БАТ для различных материалов ее заполнения

Материал поры	Без поры	Коллаген	Вода	Жир	Воздух
Величина напряженности электрического поля в точке $z = -0,001\text{мм}, y = 0\text{мм}, \text{мкВ/м}$	0,515	0,485	0,326	0,647	0,92

Структура поля в тканях в плоскости  $ZOY$  при заполнении поры жиром представлена на рис. 4. В поре и непосредственно под порой величина напряженности ЭП значительно больше чем в окружающей ее коже. При заполнении поры воздухом наблюдается схожая картина поля.

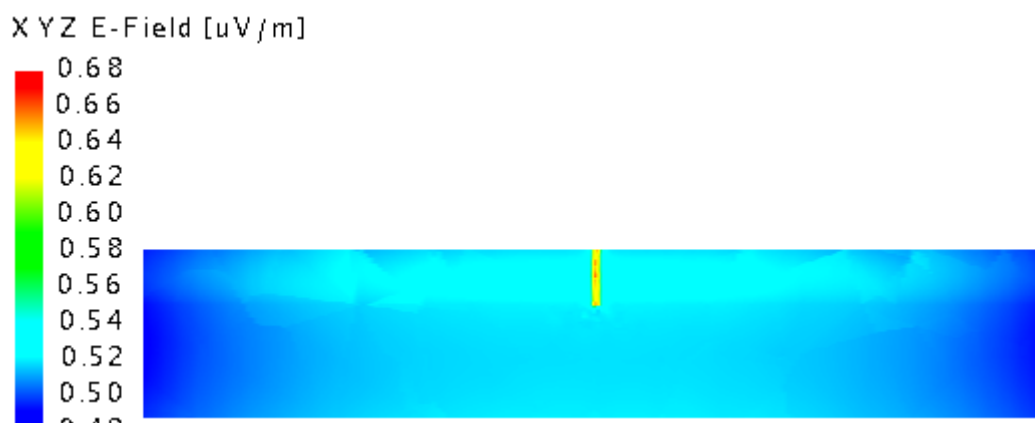


Рис. 4 Структура электрического поля в тканях в плоскости  $ZOY$  (рисунок 1) при заполнении поры жиром

## Выводы

Полученные в настоящей работе результаты показывают, что при наличии неоднородности в коже может происходить значительное увеличение уровня напряженности электрического поля в тканях по сравнению с уровнем напряженности электрического поля в тканях без неоднородностей. Согласно полученным в ходе моделирования данным, напряженность поля увеличилась на 25 % для варианта заполнения жиром и на 78 % для варианта заполнения воздухом, из чего можно сделать вывод, что участки кожи, содержащие поры, заполненные воздухом и жиром, лучше пропускают электромагнитное излучение на частоте 2.4 ГГц чем участки кожи без неоднородностей.

## Список литературы

1. Jamieson I., Jamieson S. RF/Microwave Radiation Risk awareness. Report. <http://biosustainabledesign.org>. 2014.
2. Lin, J. A New IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio-Frequency Radiation., IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 48, No.1, February 2006

3. Kumar G. Report on cell tower radiation submitted to secretary, DOT, Delhi. Prepared By Prof. Electrical Engineering Department IIT Bombay, Powai, Mumai, 2010.
4. Belokrinitskiy, V.S., 1982. Hygienic evaluation of biological effects of nonionizing microwaves. *Gigiyena i Sanitariya* 6:32-34, JPRS 81865, pp. 1-5.
5. Firstenberg. A. Radio wave packet. September 2001.
6. Blackman. C. Cell phone radiation: Evidence from ELF and RF studies supporting
7. more inclusive risk identification and assessment. Raleigh, NC 27607, USA. *Pathophysiology* 16 (2009) 205–216
8. Altpeter, E. S. et al., 1995. Study on health effects of the shortwave transmitter station of Schwarzenburg, Berne, Switzerland, Study No. 55, Swiss Federal Office of Energy.
9. Быков В.Л. Частная гистология человека. 2-е изд. СПб.: Сотис, 1997, глава 4: Кожа и ее производные, стр. 56 – 62.
10. Leung.S.W., Diao.Y.L., Siu.Y.M., Ng.K.T. Analysis of Millimeter Wave Radiation to Human Body using Inhomogeneous Multilayer Skin Model. Kwok Hung Chanl, Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong SAR, China.
11. Ермолаев Ю.М. Пространственная и электродинамическая модели биологически активной точки. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2000. – № 4.– С. 24–31.
12. Мычковский Ю. Г. Радиоэлектроника биологически активных точек. Информационный вестник КрНУ имени Михаила Остроградского. Выпуск 4 Стр 75. 2012.
13. Иванов О.Л. Кожные и венерические болезни. Москва. Шико. 2006. Глава 2 Гистология кожи. <http://www.e-reading.club/book.php?book=23958>.
14. Gabriel S., Lau R.W., Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Phys. Med. Biol.* 41. (1996) 2251-2269.