

# Моделирование миниатюрных антенн-аппликаторов СВЧ-радиотермографа для диагностики функционального состояния головного мозга

<sup>1</sup> Леушин В.Ю., <sup>1</sup> Чижиков С.В., <sup>2</sup> Веснин С.Г., <sup>3</sup> Седанкин М.К., <sup>4</sup> Порохов И.О.,

<sup>5</sup> Горбачев Д.А., <sup>1</sup> Горлачева Е.Н.

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана

*ra3bu@yandex.ru*

<sup>2</sup> ООО «Фирма «РЭС»

*vesnin47@gmail.com*

<sup>3</sup> ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ

*msedankin@yandex.ru*

<sup>4</sup> АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга

*porokhov60@mail.ru*

<sup>5</sup> АО «Концерн «Вега»

## 1. Введение

Известно, что имеется связь между нарушением функционирования органов и тканей организма и изменениями локальной температуры этих органов. Большой интерес ученых в областях медицины, биологии и биофизики к микроволновой радиометрии обусловлен тем, что она является неинвазивным методом измерения температур внутренних областей тела человека на основе исследования собственного электромагнитного излучения тканей тела в радиочастотном диапазоне [1]. Прием теплового излучения осуществляется за счет применения антенн соответствующего частотного диапазона и высокочувствительных приемников – радиометров. Для определения температуры подкожных органов и тканей человека необходимо принимать энергию теплового излучения в СВЧ диапазоне [2]. Из-за малых значений входных электрических сигналов, снимаемых с биологического объекта, весьма важным является борьба с различными электромагнитными помехами, так как уровень помех может быть настолько большим, что на фоне их затруднительно оценить информационный сигнал. Поэтому одним из основных предъявляемых к антеннам требований, помимо широкополостности в СВЧ диапазоне и миниатюризации, является их помехозащищенность.

В [3-6] приведены результаты моделирования ряда печатных антенн-аппликаторов, подтвердившие их использование в многоканальных радиотермографах. Цель данной работы – рассмотрение возможности создания новых типов помехозащищенных антенн-аппликаторов для проведения измерения температур головного мозга методом микроволновой радиометрии.

## 2. Объекты исследований

Для выбора оптимальной конструкции антенн, отвечающих необходимым требованиям для их применения в радиотермографе, было проведено моделирование ближнего поля вибраторной и спиральной антенн-аппликаторов.

Антенны помещены в изолирующий корпус с толщиной стенок 2 мм. Подложки печатных плат антенн изготовлены из фторопласта-4 и имеют диаметр 26 мм. Крышки на апертуры антенн также изготовлены из фторопласта-4 и имеют толщину 2 мм.

Для проведения анализа вибраторной антенны был выбран симметричный диполь с треугольными плечами. Размер проекции токонесущих элементов антенного модуля на поверхность биологической нагрузки составляет 20x10 мм. 3D модель антенны с треугольными плечами представлена на рис. 1.

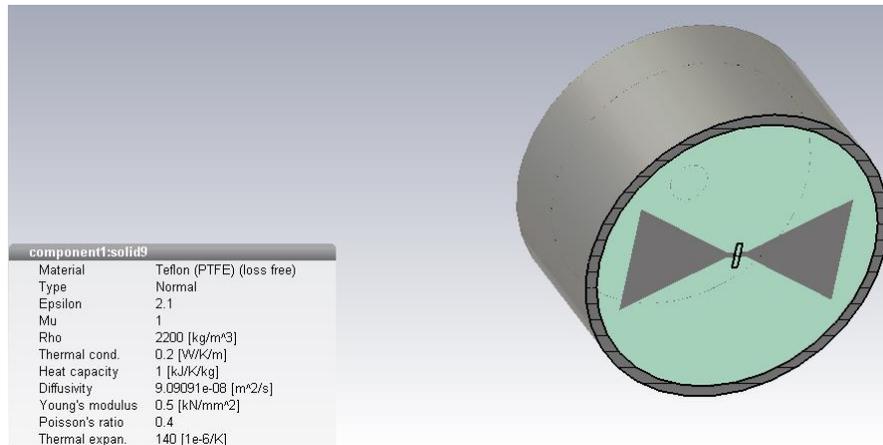


Рис. 1 – 3D модель симметричного диполя с треугольными плечами, размещенного в цилиндрическом корпусе

В качестве модели спиральной антенны была выбрана двухзаходная арифметическая спираль: ширина проводников ветвей спирали 1,4 мм, зазор между соседними витками 1 мм. 3D модель антенны с двухзаходной арифметической спиральной структурой представлена на рис. 2.

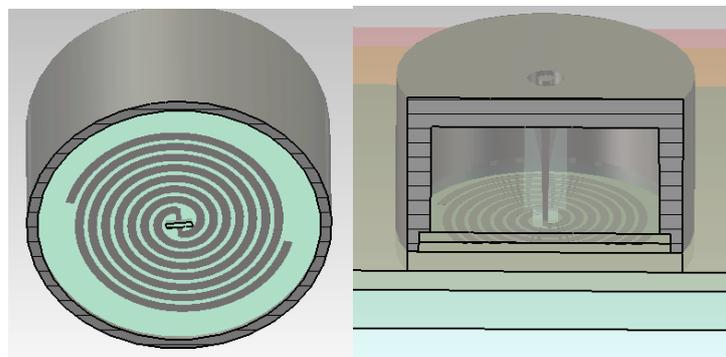


Рис. 2 – 3D модель спиральной антенны, размещенной в цилиндрическом корпусе

### 3. Результаты

Диапазон частот исследования составил 3,2 – 4,4 ГГц. Была смоделирована ситуация, когда антенна-аппликатор непосредственно соприкасается с биологической нагрузкой. Иммитатор биологической нагрузки представлял собой параллелепипед размером 160x160x60 мм, с соответствующими электрическими свойствами мышечной и костной тканей (табл. 1)..

Таблица 1. Усредненные электрофизические параметры биологических тканей головы человека

Вид биологической ткани	Диэлектрическая проницаемость,	Электропроводность, См/м	Толщина слоя биологической ткани, мм
Кожа	36,92	2,01	2
Жировой слой и кости черепа	5,17	0,156	4
Ткани мозга	46,76	2,93	89

Учитывая принцип взаимности свойств антенн на передачу и прием, в качестве интегрального параметра эффективности антенн использовалась объемная плотность поглощаемой электромагнитной мощности:

$$P = \frac{\sigma}{2} E^2, \text{ Вт} / \text{ м}^3,$$

где  $\sigma$  [  $\text{Ом} \cdot \text{м}$  ] – электрическая проводимость биологических тканей;  $E$  [  $\text{В} / \text{м}$  ] – напряжённость электрического поля.

Параметр  $P$  обычно используют при анализе передающих антенн, размещённых вблизи биологических объектов. Однако, учитывая принцип взаимности свойств антенн на передачу и приём, допустимо использование этого параметра и при анализе антенн, предназначенных для радиотермографии, так как данный параметр обладает высокой степенью наглядности [5].

На рис. 3,4 приведены частотные зависимости КСВН антенн в используемом СВЧ диапазоне.

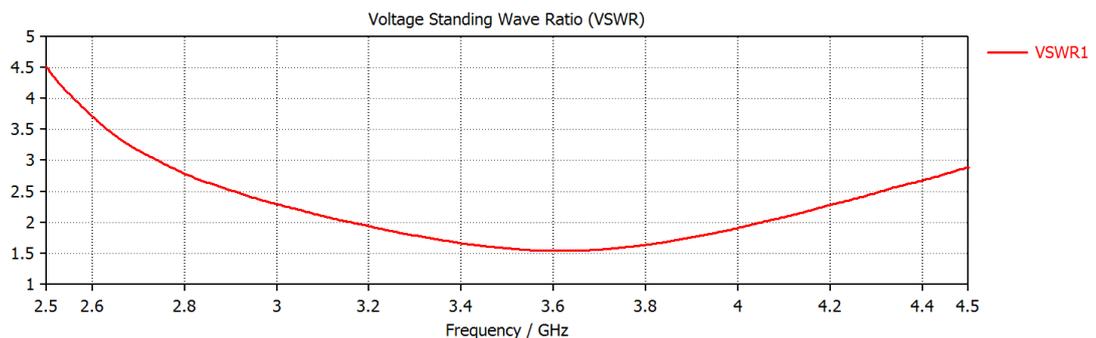


Рис. 3 – Частотная зависимость КСВН симметричного диполя с треугольными плечами



Рис. 4 – Частотная зависимость КСВН спиральной антенны

На рис.5 в качестве примера представлено распределения объемной плотности поглощаемой мощности внутри биологической нагрузки на глубине 30 мм симметричного диполя с треугольными плечами на средней частоте выбранного диапазона.

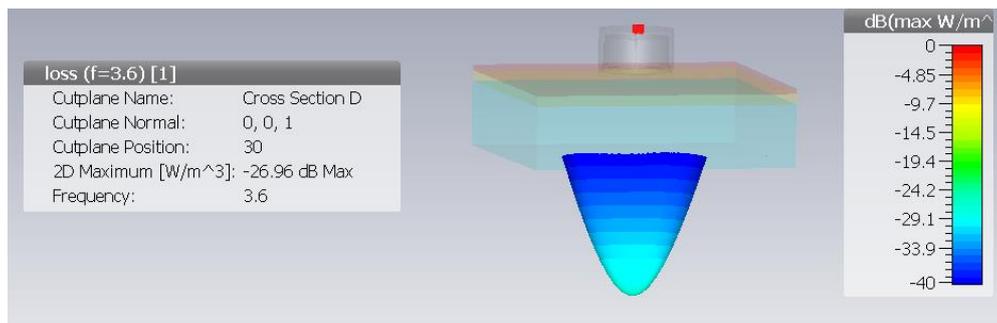


Рис. 6 – Распределение объемной плотности поглощаемой мощности симметричного диполя с треугольными плечами на частоте 3,6 ГГц

## 4. Заключение

Анализ результатов проведенных расчетов частотных зависимостей КСВН антенн-аппликаторов и моделирования пространственного распределения объемной плотности поглощенной ими мощности в ближней зоне показал, что рассмотренные помехозащищенные широкополосные антенны-аппликаторы имеют хорошие частотные и электрические показатели и являются перспективными для применения их в составе СВЧ-радиотермографа для измерения радиояркой температуры в глубине тела человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения соглашения № 19-19-00349 от 24.04.2019 «Создание методики и многоканального многочастотного СВЧ радиотермографа на основе монолитных интегральных схем для нахождения 3D распределения и динамики радиояркой температуры в глубине тела человека».

## Список литературы

1. Гуляев Ю.В., Гандурин В.А., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Плющев В.А., Цыганов Д.И. Пассивные и активные радиолокационные методы исследований и диагностики живых тканей человека. - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, № 11, 2006, с. 14-20.

2. Гуляев Ю.В., Леушин В.Ю., Гудков А.Г., Щукин С.И., Веснин С.Г., Кубланов В.С., Порохов И.О., Седанкин М.К., Сидоров И.А. Приборы для диагностики патологических изменений в организме человека методами микроволновой радиометрии. - Нанотехнологии: разработка, применение: XXI век, № 2, т. 9, 2017 г., с. 27-45.
3. Bobrikhin, A.F., Gudkov, A.G., Leushin, V.Yu., Porokhov, I.O., Sidorov, I.A. Modeling of the dipole, helical and cavity-slot antennas applicators for multichannel medical radiothermographs/ CriMiCo 2014 - 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Stvastopol, 7-13 Sept. 2014, pp.2014-1246.
4. Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Лось В.Ф., Попов В.В., Порохов И.О., Сидоров И.А. Моделирование антенн-аппликаторов унифицированных антенных решеток модульного типа для многоканальных систем радиотермокартирования.- Антенны, № 2, 2014, с. 17-26.
5. Веснин С.Г., Седанкин М.К., Пашкова Н.А. математическое моделирование собственного излучения головного мозга человека в микроволновом диапазоне. - Биомедицинская радиоэлектроника, № 2, 2015, с. 17-30.
- 6.. Sedankin M. K., Leushin V. Yu., Gudkov A. G., Vesnin S. G., Sidorov I. A., Agasieva S. V. , Ovchinnikov L. M., Vetrova N. A.. Antenna Applicators for Medical Microwave Radiometers.- Biomedical Engineering, Vol. 52, No. 4, November, 2018, pp. 235-238.