

УДК 611.08

ИМИТАТОРЫ ТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ

Кудренко И. И., Шутович В. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Давыдов М. В. – канд. техн. наук, доцент, первый проректор БГУИР

Аннотация: рассматривается перечень материалов, которые могут быть использованы вместо тканей человека в рамках экспериментов по исследованию воздействия на них СВЧ излучений.

Ключевые слова: СВЧ, излучение, ЭМИ, имитаторы биотканей

Введение. Сегодняшнее развитие техники и технологий привело к широкому использованию СВЧ волн во многих областях: медицине, промышленности, средствах коммуникации и передачи данных, военной сфере и др. Но безопасны ли они для человека?

Всемирная Организация Здравоохранения поставила СВЧ на первое место по опасности воздействия на здоровье человека [1], а также появились отчеты, говорящие об эффекте накопления, что может служить причиной появления болезней [2], хотя они могут не проявляться в течение долгого времени.

Для исследования воздействия СВЧ излучения существует несколько проблем: использование человеческих материалов сложно с юридической точки зрения [3], а также сложно их консервировать [4]. Было бы удобно изготавливать имитаторы, близкие по характеристикам к настоящим тканям.

Основная часть. Эксперименты с использованием имитаторов хорошо воспроизводимы и позволяют установить системные закономерности в изменении параметров. Также имеется возможность для сравнения результатов экспериментов на имитаторе со случаями из практики судебно-медицинской экспертизы и военной хирургии для проверки свойств имитатора. Для успешного применения физической модели биологической ткани необходимо при ее создании получить схожие электрические характеристики с реальным биологическим образцом. Имитаторы должны отвечать следующим основным требованиям:

- репрезентативность по отношению к живым тканям;
- воспроизводимость в статистически достоверном объеме;
- доступность, простота в использовании, невысокая себестоимость.

На сегодняшний день существует множество различных разработанных имитаторов биологической ткани. Так как СВЧ волны обладают малой проникающей способностью, то необходимо в первую очередь исследовать их взаимодействие с внешними покровами тела такими, как кожа или глазная ткань.

Имитаторы на основе трикотажа, целлюлозы, войлока, пропитанные растворами солей натрия и кальция, спиртовыми водными растворами, гидрогелями, легко воспроизводятся, но имеют малый срок эксплуатации.

Для получения свойств биотканей использовались волокнистые матрицы на основе целлюлозы с размером пор порядка 10 микрон, смоченные растворами солей металлов [5]. Данный имитатор имеет электропроводность близкую к белому веществу мозга. Но нет данных о диэлектрической проницаемости.

Существуют искусственные кожи, созданные на основе пропитки хлопчатобумажной ткани. В основном используется кирза, бумага-корд, которые пропитываются смесью на основе поливинилхлорида, мочевино-формальдегида, полиамида [6]. Но такие кожи в основном используются в промышленных целях, поэтому воспроизводить их в кустарных способах сложно, а электрические характеристики (электрическая проводимость и диэлектрическая проницаемость) таких имитаторов далеки от реальных.

Наибольшее признание среди имитаторов физических и механических свойств получили 10 и 20 % водные растворы желатина в виде геля, прозрачное глицериновое мыло и баллистический (скульптурный) пластилин. Если есть необходимость длительного хранения результатов эксперимента (например, с целью использования в учебном процессе) предпочтительнее использовать баллистический пластилин, поскольку желатин для этого непригоден. Но для имитирования электрических свойств кожи желатин оказался хорошим вариантом. К тому же легко и относительно быстро изготавливается для проведения опытов. Кроме того, как дешевая и доступная альтернатива человеческой коже может быть использована свиная кожа.

В данном исследовании использовался прямоугольный волновод, работающий в диапазоне частот 8-12 ГГц. В лабораторную установку входят векторный анализатор цепей *Rohde & Schwarz ZNB20* (рисунок 1) и внешний СВЧ генератор с диапазоном частот, соответствующим рабочему диапазону волновода 23 x 10 мм (8-12 ГГц). В состав макета входят анализатор, комплект коаксиально-волноводных переходов, два коаксиальных кабеля, которые подключаются к портам анализатора и к волноводу, и волноводная ячейка с исследуемой тканью. Исследуемый материал полностью заполняет сечение волновода.



Рисунок 1 – Лабораторный макет

Изготовление гелей желатина. Идеальная температура воды составляет примерно 40 градусов Цельсия. Далее добавляем желатин в расчете, чтобы вышли растворы 10% и 20%. Затем необходимо помешивать раствор до момента растворения желатина. После того, как гель станет однородным, на его поверхности может образоваться небольшое количество пены, ее нужно убрать. Затем необходимо охладить смесь примерно до 2-4 градусов. Охлаждать его рекомендуется не менее 8 часов, иначе гель получится не плотный.

Результаты исследования представлены в таблицах 1 и 2, также проводилось моделирование в программном пакете *CST Studio Suite* по методике.

Таблица 1 – Результаты исследования на диапазоне частот 8-10 ГГц

Ткани	Толщина, мм	S1.1, дБ	S2.1, дБ
Кожа (моделирование)	1	-2	-13
	2	-1,5	-14
	5	-1	-22
Свиная кожа	1	-2	-14
	2	-1,8	-17
	5	-1,5	-29
Гель (10%)	1	-2	-17
	2	-1,6	-18
	5	-1,4	-29
Гель (20%)	1	-2	-19
	2	-1,8	-23
	5	-1,4	-31
Кожа (моделирование)	1	-2,5	-15
	2	-1,5	-17
	5	-1	-24

Продолжение таблицы 2

Ткани	Толщина, мм	S1.1, дБ	S2.1, дБ
Свиная кожа	1	-2,5	-15
	2	-2,3	-18
	5	-2	-30
Гель (10%)	1	-2,5	-19
	2	-2,1	-21
	5	-1,9	-31
Гель (20%)	1	-2,5	-22
	2	-2,4	-27
	5	-2,1	-35

Заключение. В результате получены следующие результаты: на частотах 8-12 ГГц в качестве имитатора толщиной 1 мм можно использовать свиную кожу, ее характеристики отражения и прохождения электромагнитного излучения практически полностью соответствуют моделированию; если нужен имитатор с большей толщиной, то лучше использовать желатиновый гель с 10% концентрацией. При частоте 8-12 ГГц этот имитатор показывает более близкие данные к модели.

Список литературы

1. Электромагнитный смог - *Electromagnetic Smog* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proza.ru/2010/03/22/983/>. – Дата доступа: 21.02.2022.
2. Влияние электромагнитного излучения на здоровье человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s112/s112-016.pdf#:~:text=Проблема%20электромагнитного%20излучения%20на%20сегодняшний,законы%2C%20призванные%20регулировать%20уровень%20ЭМИ-> Дата доступа: 22.02.2022.
3. Человеческий биоматериал как объект права [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-biomaterial-kak-obekt-prava>. – Дата доступа: 22.02.2022.
4. Консервирование органов и тканей [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://бмэ.орг/index.php/КОНСЕРВИРОВАНИЕ_ОРГАНОВ_И_ТКАНЕЙ. – Дата доступа: 22.02.2022.
5. Экспресс-оценка воздействия источников электромагнитных импульсов и электроискровых разрядов на имитаторы биологических тканей / Я. Т. А. Аль-Адеми [и др.] // Доклады БГУИР. - 2014. - № 5 (83). - С. 44 - 49.
6. Искусственные материалы для обуви и галантереи [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.otkani.ru/footwearmaterials/footweartextile/3.html>. – Дата доступа: 22.02.2022.

UDC 611.08

HUMAN TISSUE SIMULATORS FOR STUDYING THE IMPACT OF MICROWAVE RADIATION

Kudrenok I. I., Shutovich V. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Davydov M.V. – PhD, assistant professor, first vice-rector of BSUIR

Annotation. A list of materials that can be used instead of human tissues in the framework of experiments to study the effects of microwave radiation on them is considered.

Keywords: microwave, radiation, EMP, biotissue simulators