

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИМИТАТОРЫ ТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Раджабов Ш. Ф., Шутович В.А.

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

*Научные руководители: Давыдов М.В. – канд. техн. наук, доцент, первый проректор БГУИР,
Дик С.К. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ*

Аннотация. Экспериментально исследуется набор материалов посредством воздействия на них СВЧ излучения в рамках поиска альтернатив использованию тканей человека. В результате проделанной работы получены графики отражения (параметр S11) и прохождения (параметр S21) электромагнитного излучения (ЭМИ) сквозь имитаторы, по которым можно сделать вывод о пригодности их применения в обозначенных целях.

Ключевые слова: СВЧ, излучение, ЭМИ, имитаторы биотканей, S11, S21

Введение. Бурное развитие технологий привело к появлению широкого ассортимента высокотехнологичных приборов и образцов техники, использующих СВЧ волны. Их полно во многих областях: науке, медицине, промышленности, учебной деятельности, средствах коммуникации и передачи данных, военной сфере и др. В следствие этого возникает вопрос о безопасности таких устройств для человека.

Всемирная Организация Здравоохранения поставила СВЧ на первое место по опасности воздействия на здоровье человека [1]. В последнее время появились работы, говорящие об эффекте накопления от воздействия радиочастотного излучения, который может являться причиной появления болезней [2] и даже увеличения распространения рака [3], [4]. Однако симптомы могут не проявляться в течение продолжительного времени.

При исследовании воздействия СВЧ излучения на ткани человека возникает несколько проблем: использование человеческих материалов сложно с юридической точки зрения [5], а также есть проблемы с их консервацией [6]. Поэтому рациональным решением выглядит использование имитаторов с электрическими характеристиками близкими к настоящим тканям.

Основная часть. Использование имитаторов биотканей в экспериментах с использованием ЭМИ обладает следующими особенностями: имитаторы хорошо воспроизводимы и позволяют выявить основные закономерности в изменении параметров. Также имеется возможность для сравнения результатов экспериментов, выполненных с использованием имитаторов, со случаями из практики судебно-медицинской экспертизы или хирургии для проверки свойств используемых материалов. Главными критериями успешного применения физической модели биологической ткани являются: схожесть ее электрических характеристик с реальным биологическим образцом, воспроизводимость в статистически достоверном объеме, доступность и простота в использовании, невысокая себестоимость.

На сегодняшний день хоть существует множество различных имитаторов биологической ткани, но однозначно не выделен материал наилучшим образом, подходящий для исследования воздействия ЭМИ. СВЧ волны в свою очередь обладают малой проникающей способностью, поэтому первоочередной задачей является исследование их взаимодействия 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. В работе [7] использовались волокнистые матрицы на основе целлюлозы с размером пор порядка 10 микрон, смоченные растворами солей металлов. Данный имитатор имеет электропроводность близкую к белому веществу мозга. Но в статье не приведена информация о диэлектрической проницаемости.

В статье [8] представлена информация об успешном применении в качестве имитаторов 10 и 20 % водных растворов желатина в виде геля, прозрачного глицеринового мыла и баллистического (скульптурного) пластилина из-за схожести их физических и механических свойств. Указывается состав геля из желатина и мыла (80-85% воды, 15-20% белка/глицерина, пропиленгликоля и т.д.), по которому можно сделать предположение о том, что их электрические характеристики подойдут и для исследования влияния на них электромагнитного излучения.

Также отмечается разное время пригодности для использования. Для длительного хранения имитатора предпочтительнее использовать баллистический пластилин, поскольку желатин быстро портится и теряет свои свойства. Если использовать желатиновый гель через короткое время после его приготовления для экспериментов, то в этом случае желатин – хороший вариант. Вдобавок этот имитатор легко и быстро изготавливается. Как дешевая и доступная альтернатива человеческой коже может быть использована свиная кожа.

В данном исследовании использовался прямоугольный волновод (23 мм x 10 мм), работающий в диапазоне частот 8-12 ГГц. В качестве генератора сигнала и его воспринимающей системы применялся векторный анализатор цепей Rohde & Schwarz ZNB20, поддерживающий рабочий диапазон упомянутого волновода. В состав экспериментальной установки (рисунок 1) входят: анализатор, волновод, комплект коаксиально-волноводных переходов, два коаксиальных кабеля, которые подключаются к портам анализатора и к волноводу, волноводная ячейка с исследуемой тканью. Исследуемый материал полностью заполняет сечение волновода.

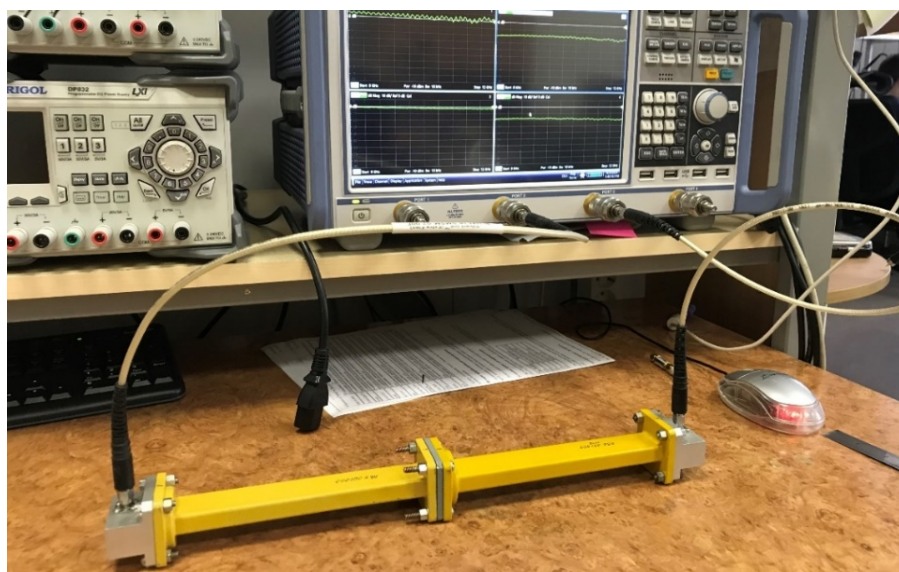


Рисунок 1 – Лабораторный макет

В качестве имитаторов выбраны: глицериновое мыло и свиная кожа по причинам доступности, дешевизны и легкости подготовки для исследований. Для каждого материала подготовлены по 3 образца толщинами 1 мм, 2 мм и 5 мм.

После подготовки геометрии образцов они обворачивались пищевой пленкой перед помещением в волноводную ячейку для того, чтобы экземпляр надежно держался в ячейке и не оставлял части материала на стенках, тем самым снижая достоверность результатов при следующих экспериментах (рисунок 2). Затем проводилась первоначальная настройка, калибровка установки и проведение опытов.

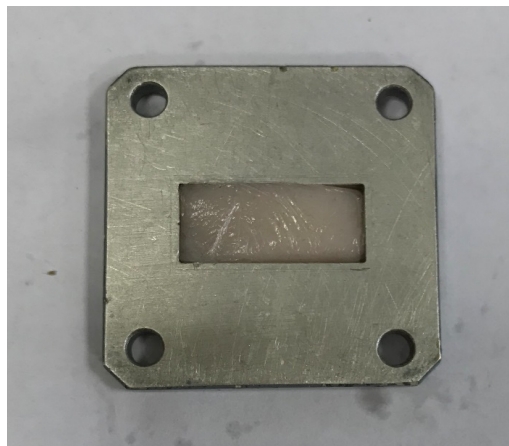


Рисунок 2 – Экземпляр свиной кожи толщиной 5 мм в волноводной ячейке

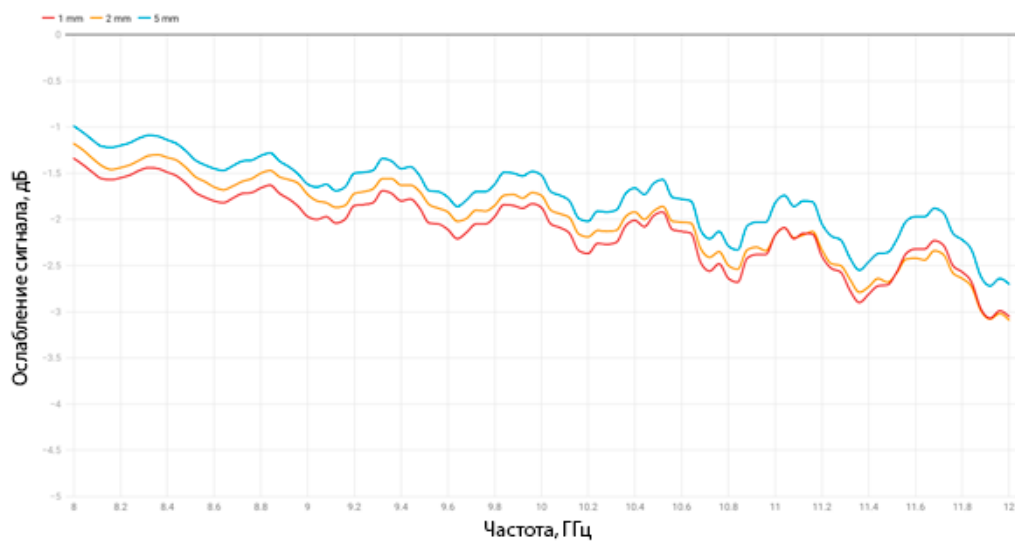


Рисунок 3 – Параметры S11 глицеринового мыла

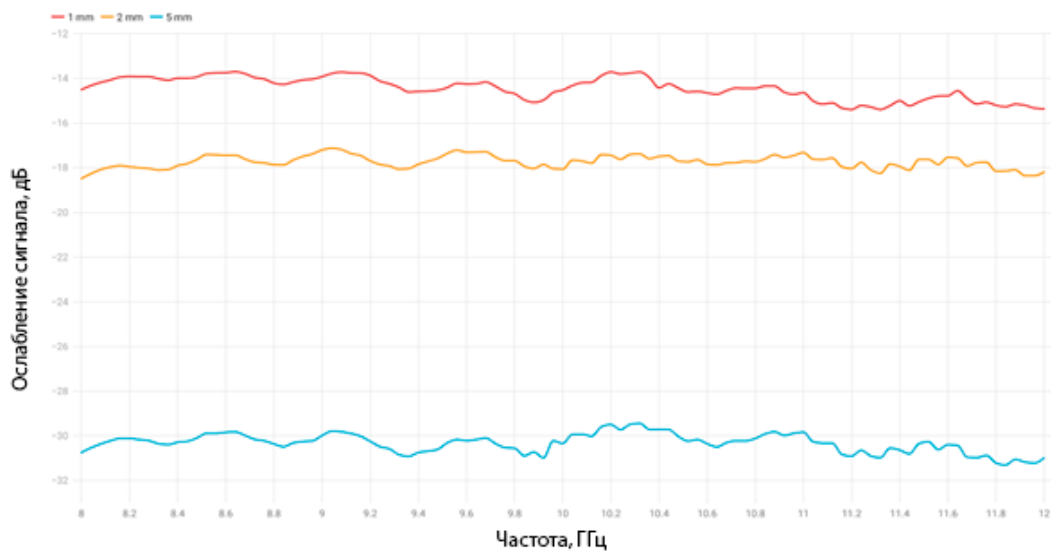


Рисунок 4 – Параметры S21 глицеринового мыла

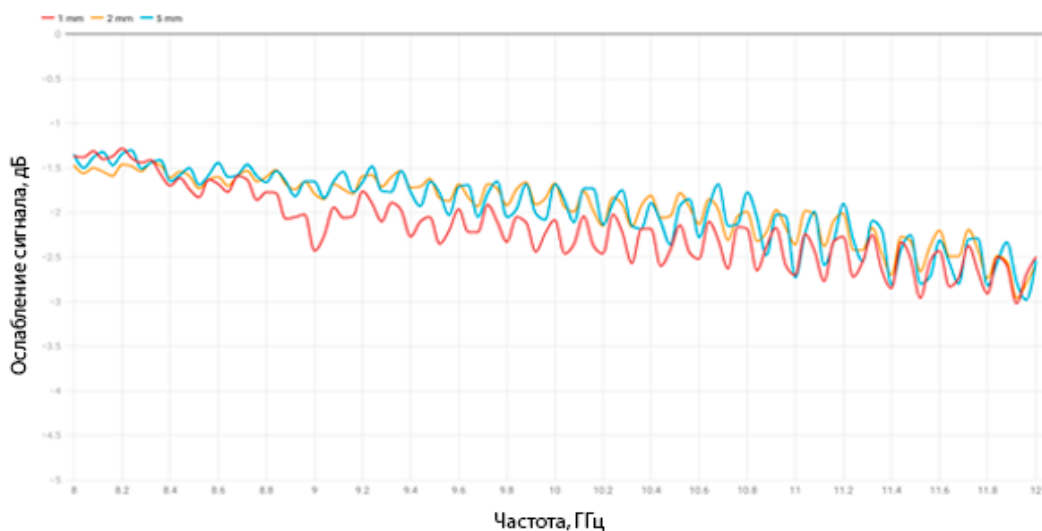


Рисунок 5 – Параметры S11 свиной кожи

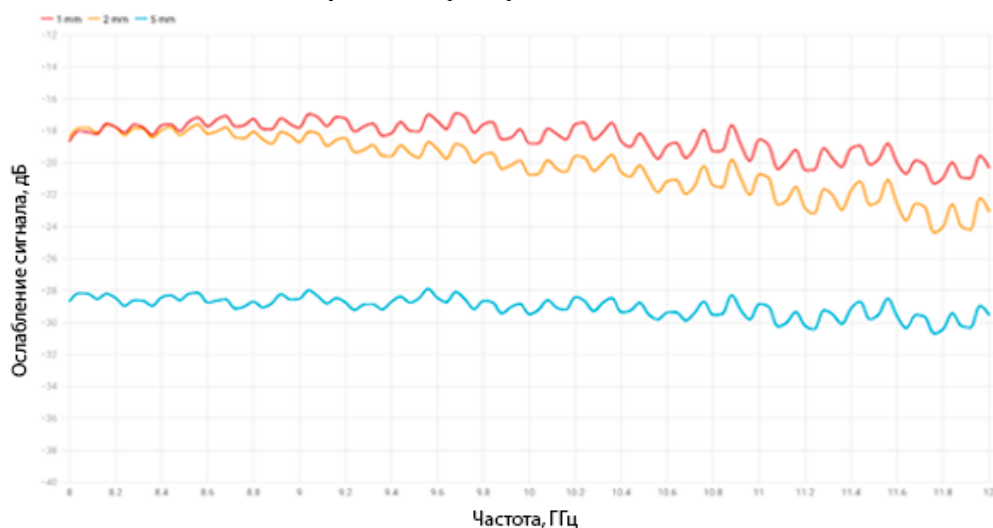


Рисунок 6 – Параметры S21 свиной кожи

Результаты исследования в виде усредненных параметров S11 и S21 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования в диапазоне частот 8-12 ГГц

Частотный диапазон, ГГц	Ткани	Толщина, мм	S11, дБ	S21, дБ
8-10	Глицериновое мыло	1	-1,8	-14,0
		2	-1,7	-17,5
		5	-1,5	-30,2
	Свиная кожа	1	-1,8	-17,8
		2	-1,6	-18,8
		5	-1,4	-28,7
10-12	Глицериновое мыло	1	-2,4	-14,8
		2	-2,4	-18,0
		5	-2,1	-30,5
	Свиная кожа	1	-2,3	-18,8
		2	-2,2	-21,9
		5	-1,9	-29,6

Заключение. По итогам выполненной работы получены следующие результаты: вычислены коэффициенты отражения и пропускания ЭМИ через имитаторы биотканей. Графики S11 имитаторов плавно снижаются при увеличении частоты (глицериновое мыло в среднем с -1,3 дБ до -2,3 дБ; свиная кожа в среднем с -1,4 дБ до -2,6 дБ), имея при этом колебания во всем диапазоне в районе 0,2-0,3 дБ. График S21 глицеринового мыла имеет вид прямой с незначительными отклонениями, которая практически не зависит от частоты. Пропускание ЭМИ свиной кожи также имеет вид похожий на прямую, но с колебаниями, доходящими до 1 дБ. У образцов с толщинами 1 мм и 2 мм прослеживается снижение пропускания при увеличении частоты.

Также заметно, что образцы с большими толщинами лучше отражают волны и хуже их пропускают, чем экземпляры с меньшей толщиной того же материала.

В целом, оба имитатора одинаковой толщины имеют близкие показатели исследуемых параметров: для отражения различия в худшем случае достигают 0,7 дБ, а для пропускания – 3,9 дБ. Оба материала пригодны для использования в качестве имитаторов тканей человека.

Список литературы

1. Электромагнитный смог - *Electromagnetic Smog* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proza.ru/2010/03/22/983/>. – Дата доступа: 21.03.2023.
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: 22.03.2023.
3. Goldsmith J. R. Epidemiological studies of radio-frequency radiation: Current status and areas of concern // *Int. Conf. «Eff. RF-Electromagn. Radiat. Org.»*. Skrunda, June 17–21 1994. – *Sci. Total Environ.*, 1996. – № 1. – С. 3–8.
4. Verschaeve L. Can non ionizing radiation induce cancer? // *J. Cancer*. – 1995. – V. 5. – P. 237–249.
5. Человеческий биоматериал как объект права [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-biomaterial-kak-obekt-prava>. – Дата доступа: 22.03.2023.
6. Консервирование органов и тканей [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://бмэ.орг/index.php/КОНСЕРВИРОВАНИЕ_ОРГАНОВ_И_ТКАНЕЙ. – Дата доступа: 22.03.2023.
7. 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.
8. Кудренко, И. И. Имитаторы тканей человека для исследования воздействия СВЧ излучения / И. И. Кудренко, В. А. Шутович // *Электронные системы и технологии* [Электронный ресурс] : сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18-22 апреля 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лухачевский [и др.]. – Минск, 2022. – С. 430–432. – Режим доступа : <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/46926>.

UDC 611.08

HUMAN TISSUE SIMULATORS FOR STUDYING THE IMPACT OF MICROWAVE RADIATION

Rajabov S.F., Shutovich V.A.

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

Davydov M.V. – PhD, associate professor, First Vice-Rector of BSUIR

Dzik S.C. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ETT

Annotation. Experimentally investigated a set of materials by exposure to microwave radiation as part of the search for alternatives to the use of human tissues. As a result of this work, the graphs of reflection (parameter S11) and passage (parameter S21) of electromagnetic radiation (EMR) through the simulators were obtained, from which we can conclude on the suitability of their use for the designated purposes.

Keywords: microwave, radiation, EMP, biotissue simulators, S11, S21