

**ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ ИМИТАТОРЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ****Я.Т.А.Аль-Адеми, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, М.В. Давыдов, Л.М. Лыньков**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ЗИ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 29389438  
E-mail: nasonovan@ bsuir.by*

Аннотация. Предложены имитаторы биологических тканей для оценки воздействия электромагнитных излучений промышленных и бытовых источников на организм человека. Заполняемые различными растворами, капиллярно-пористые матрицы с размером пор порядка десятков микрон, позволяют получать электрические характеристики, близкие к характеристикам различных биологических тканей. Создана база данных электрических параметров разработанных имитаторов. Предложены методики оценки воздействия импульсных магнитных полей и мощных импульсов электрического тока на биологические ткани.

В настоящее время распространены физиотерапевтические методы коррекции состояния человека: лечение с воздействием электрического поля, постоянного, переменного, непрерывного и прерывистого электротоков, переменного магнитного поля (МП), электромагнитных полей, светолечение, криотерапия, лечение с применением механических воздействий, и т.д. [1]. Кроме того, активно исследуется специфика воздействий электромагнитных излучений промышленных и бытовых источников на организм человека. Представляется актуальным изучение влияния электромагнитных излучений и их последствий на людей, в том числе с имплантируемыми электронными устройствами, поскольку эффект от электромагнитных воздействий определяется амплитудой, частотой, интенсивностью и продолжительностью воздействия и может быть как положительным так и отрицательным. Математическое моделирование не всегда позволяет точно воспроизвести условия эксперимента. Альтернативой использованию животных для исследований могут служить различные имитаторы – как полностью человека, так и его отдельных органов и тканей. Для имитации параметров организма человека обычно применяются полимерные гели [2], водные растворы NaCl, сахарозы [3] и др.

Взаимодействие электромагнитного излучения с биологическими тканями на макроуровне определяется их диэлектрической проницаемостью и проводимостью, характеризующими присутствие связанных зарядов (полярных и неполярных макромолекул различных линейных размеров и диполей воды) и свободных зарядов (ионы внеклеточных и внутриклеточных структур, поляризованные молекулы воды). Средняя величина клеток у человека достигает 10-30 микрон [4]. Предложены имитаторы биологических тканей на основе капиллярно-пористых твердотельных матриц со средним размером пор порядка десятков микрон, заполняемых различными растворами. Создана база данных импедансных характеристик различных имитаторов. На основе характеристики биологической ткани организма [5] предложено выбирать имитатор наиболее близкий по свойствам.

Результаты сравнения импедансных характеристик различных биологических тканей и влагосодержащих пористых матриц показали хорошую корреляцию для диапазона частот 60-100 000 Гц (таблица 1). На основании полученных результатов предложено использовать разработанные имитаторы для исследования степени воздействия импульсных магнитных и электрических полей на биологические ткани организма человека, например, при проведении диагностики методами ЯМР и диагностики нервной проводимости методами вызванной электромиографии, а также при проведении транскраниальной магнитной стимуляции мозга человека, а также оценке влияния низкочастотных МП промышленных и бытовых источников на организм человека.

Таблица 1 – Биологические ткани и соответствующие им по электрическим параметрам имитаторы

Биологическая ткань	Расчётное значение $\sigma$ , См/м	Материал образца	Z, кОм	Экспериментальное значение $\sigma$ , См/м
Серое вещество мозга	0,098805	Водосодержащая целлюлозная матрица с влагосодержанием 65%	12 477	0,080147
Белое вещество мозга	0,062574	Водосодержащая целлюлозная матрица с влагосодержанием 45%	19 700	0,050761
Лимфа	0,52427	Водосодержащая трикотажная матрица с гидрогелем	899	0,556174
Кожа влажная	0,00065738	Полимерный гидрогель с влагосодержанием 19%	700 000	0,000714
Кожа сухая	0,00020006	Полимерный гидрогель с влагосодержанием 14%	1 700 000	0,0002294
Мышцы	0,32115	Нетканая волокнистая матрица, заполненная желтком	765	0,326797
Жидкость организма	1,5	Нетканая волокнистая матрица, заполненная белком	163	1,533742

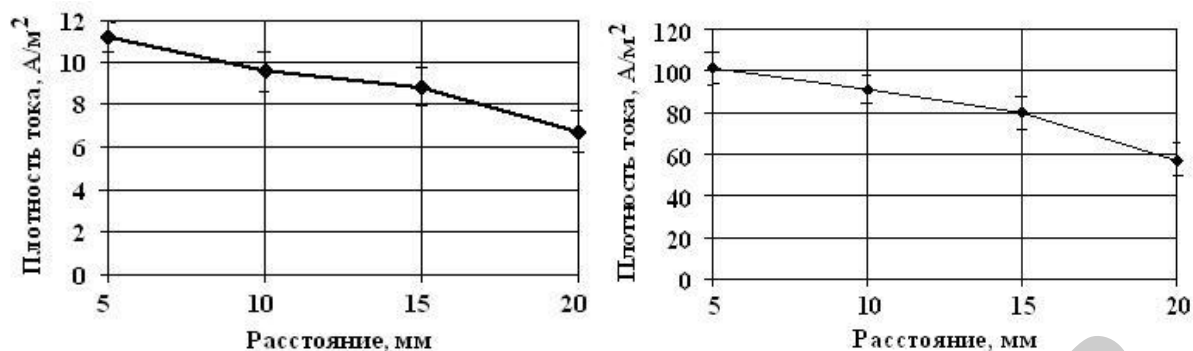
С использованием предложенных имитаторов исследовалось воздействие импульсного МП с максимальным значением индукции около 0,8 Тл. Индуктор устанавливался на расстоянии 5 мм, 10 мм, 15 мм и 20 мм от исследуемого имитатора. На образце на расстоянии  $L$  устанавливались электроды, подключенные к цифровому осциллографу. По величине наведенного напряжения  $U$  с учетом удельной проводимости  $\sigma$  вещества рассчитывались напряженность электрического поля  $E=U/L$  и плотность электрического тока в образце  $j=\sigma \cdot E$ .

Для исследования воздействия на разработанные имитаторы мощных импульсов электрического тока использовалось электрошоковое устройство, которое способно генерировать мощность от 1,0 до 2,0 Вт с длительностью импульса тока через нагрузку до 12 мс, собственной частотой тока через нагрузку 170-180 кГц, частотой следования импульсов до 60 Гц и напряжением искрового разряда на электродах от 45 до 70 кВ.

На рисунке 1 приведены результаты исследований воздействия импульсов МП на созданные имитаторы.

На основе проведенных исследований предложена методика оценки воздействия импульсного МП на биологическую ткань, которая заключается в следующем:

- измерение комплексного сопротивления материала на частотах воздействия МП;
- определение удельной проводимости материала;
- выбор из базы данных имитатора, близкого по электрическим свойствам к исследуемому материалу;
- размещение имитатора под индуктором на контролируемой высоте и установка электродов осциллографа;
- фиксация осциллографом импульса напряжения, наведенного при воздействии импульсного МП;
- расчет плотности электрического тока в образце;
- сравнение с допустимым значением.



**Рисунок 1** – Расчётные значения плотности тока в образцах, имитирующих: а – серое вещество мозга; б – лимфу

Показано, что с увеличением расстояния от 5 до 20 см наблюдается линейное уменьшение плотности тока, индуцируемого в имитаторах (в среднем на 20...25 %).

Экспериментальные исследования воздействия мощных импульсов электрического тока на имитаторы биологических тканей позволили разработать методику оценки воздействия электрических импульсов на имитаторы биологических тканей:

- выбор из базы данных имитатора, близкого по электрическим свойствам к исследуемому материалу;
- установка электродов осциллографа на имитатор;
- установка электродов источника импульсов электрического тока на имитатор;
- фиксация осциллографом напряжения, наведенного электрическим импульсом;
- расчет плотности электрического тока в имитаторе (Таблица 2).

**Таблица 2** – Рассчитанная плотность тока в имитаторе биологической ткани на основе влагосодержащего образца целлюлозы (пример)

Образец	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>			
	5мм	10мм	15мм	20мм
Водосодержащая целлюлозная матрица с влагосодержанием 65%	0,15	0,07	0,05	0,03

Показано, что использование разработанных материалов толщиной до 3,5 мм позволяет снизить наводимое напряжение с 50 до 1 кВ.

#### *Литература*

1. **Takashima, Y.** Expansion–contraction of photoresponsive artificial muscle regulated by host-guest interactions / Y. Takashima [et al.] // Nature Communications. – 2012. – №3, Pp.1270.
2. **Christ, A.** Energy Absorption in Layered Biological Tissues in the Near- and Far-Fields of the Antennas of Body-Mounted Devices / A. Christ, Klingenb A., Kuster N. Energy // Proceedings of XXVIIIth General Assembly of the International Union of Radio Science in New Delhi, India, 23-29 October 2005.
3. **Alberts, B.** Molecular Biology of the Cell / B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and P. Walter., 4th edition - New York: Garland Science; 2002.
4. **Foster, K. R.** Dielectric properties of tissues / K. R. Foster and H. P. Schwan // Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. New York: CRC Press, 1996.