

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

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ТКАНИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Аннотация

Предложена методика оценки воздействия импульсных магнитных полей на организм человека *in situ* с использованием имитаторов электрических параметров биологических тканей. Проведены экспериментальные измерения, и оценены параметры воздействия. Предложенная методика может использоваться как для оценки безопасности терапевтического воздействия МП, так и для оценки/предсказания медико-биологического воздействия бытовых и промышленных источников МП.

Ключевые слова: воздействие импульсного магнитного поля, имитатор биологических тканей.

Введение

Необходимость исследования воздействия магнитных полей на организм человека связана с существованием большого количества промышленных и бытовых источников магнитных полей, воздействию которых подвергаются люди на работе и в быту (электротранспорт, разрядники, линии электропередачи и пр.) [1]. Кроме того, в настоящее время широко развивается сфера магнитотерапии, механизмы воздействия которой до конца не выявлены [2]-[4].

К электрическим токам, индуцируемым такими полями, чувствительна в первую очередь нервная система. Их изучение, как правило, выполняется с помощью методов компьютерного математического моделирования [5], [6]. Данные методы позволяют создать трехмерные модели тканей человека с соответствующими электрическими параметрами, а также модели индукторов, определить их геометрические размеры, задать пространственное положение. На основании моделирования есть возможность рассчитать параметры индуцированных токов в моделируемых тканях, определить пути их распространения и косвенно, на основе расчетных данных, оценить силу их воздействия на нервно-мышечный аппарат человека (выявить тип воздействия: подпороговое, надпороговое и т. д.). Однако при этом

моделируется гармонический, а не импульсный сигнал, при расчете гетерогенных моделей сложной формы требуются значительные затраты времени на расчет параметров поля, а переконфигурирование модели под параметры тканей конкретного пациента представляет собой сложную задачу.

Разработка методики оценки воздействия ИМП на организм человека важна как для оценки безопасности терапевтического воздействия МП, так и для оценки/предсказания медико-биологического воздействия бытовых и промышленных МП.

Теоретическая часть

Биологические ткани являются композиционными средами со сложными геометрией и структурой. Ткани организма в значительной степени диамагнитны подобно воде. Основной вклад в электропроводность биотканей вносят биологические жидкости: кровь, лимфа, межклеточная и внутриклеточная жидкости. Проводимость для этих сред составляет 0,1...20 См/м и на 2...5 порядков выше, чем электропроводность органов, мембран в невозбужденном состоянии, границ раздела разных по строению и свойствам тканей (компактная костная ткань и др.), что определяется разделением органов на отделы различного рода мембранами с относительно высоким сопротивлением.

Электрические свойства биологических тканей определяются присутствием в них воды, растворенных в воде макромолекул, а также особенностями клеточных и макроскопических структур. Для имитации биологических тканей организма человека в [7] предлагается использовать водосодержащие композиционные материалы, электрические свойства которых близки к аналогичным параметрам биологических тканей [8].

Разработанная методика оценки воздействия ИМП представлена на рис. 1.



Рис. 1. Методика оценки воздействия импульсных магнитных полей

1. В зависимости от анализируемого органа, для которого производится оценка воздействия, из набора выбираются имитаторы тканей, входящих в его состав. Разработан набор имитаторов [9], электрические свойства которых в диапазоне частот 1 000...10 000 Гц равны электри-

ческим параметрам различных биологических тканей: кожи, мышц, вещества мозга, биологических жидкостей и т. д.

2. Затем из выбранных образцов имитируется структура органа (например, кожа-мышцы).

3. Имитатор помещается на ровную поверхность, магнитные параметры которой не оказывают влияния на ход эксперимента (относительная магнитная проницаемость вещества $\mu_r = 1$).

4. В лабораторных условиях над образцом устанавливается индуктор магнитной системы, развивающий магнитное поле с требуемыми параметрами. Расстояние между индуктором и образцом может контролироваться с помощью пластин известной толщины (5, 10, 15 и 20 мм).

5. На образце на расстоянии 50 мм устанавливаются электроды (нержавеющая сталь, размеры 60 x 40 x 1 мм).

6. Через соединительные провода длиной 1,5 м (для устранения воздействия магнитного поля на измерительный прибор) электроды подключаются к цифровому осциллографу.

7. Цифровой осциллограф настраивается на ждущий режим с триггером по напряжению.

8. Образец подвергается облучению исследуемым магнитным полем, фиксируется импульс напряжения, возникающий между электродами в момент прохождения магнитного поля через образец.

9. По величине напряжения с учетом удельной проводимости вещества рассчитываются напряженность электрического поля и плотность электрического тока в образце.

Методика может использоваться для оценки уровня воздействия ИМП промышленных или бытовых устройств, тогда в качестве источника используется исследуемое оборудование, а образец размещается в месте нахождения человека.

По установленным амплитудам напряжений, возникающих на электродах вследствие прохождения по образцу тока, индуцированного импульсным магнитным полем U , и характеристикам электропроводности имитаторов определяют другие параметры воздействия: напряженность электрического поля E и плотность тока j , возникающие в образце под действием импульсного магнитного поля:

$$E = U / L;$$

$$j = \sigma \cdot E.$$

Предлагаемая методика была апробирована на практике (см. табл. 1).

Выводы

Разработанная методика оценки воздействия ИМП на биологические ткани организма человека позволяет *in situ* определить основные параметры воздействия для определения их соответствия существующим нормам.

Данный подход применим как для оценки степени магнитотерапевтического воздействия, так и для установления влияния антропогенных источников ИМП на пользователей и окружающих людей.

Список литературы:

1. Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И. и др. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // Успехи физических наук. 1998. Т. 168. № 7. С. 767-791.
2. Плетнев С.В. Система контроля и направленного воздействия магнитных полей на состояние биологических объектов / Дис. на соиск. степени д.т.н. по спец. 05.11.13. 271 с.
3. Улащик В.С. // Здоровоохранение. 2009. № 2. С. 4-10.
4. Улащик В.С. // Здоровоохранение. 2009. № 6. С. 29-34.

Таблица 1

Значения измеренных и рассчитанных параметров воздействия импульсного магнитного поля на имитаторы биологических тканей организма человека

Описание имитатора	U, В		E, В/м		j, А/м ²	
	5 мм	20 мм	5 мм	20 мм	5 мм	20 мм
Прессованная целлюлоза, Н ₂ О	7	4,2	140	84	11,221	6,732
Прессованная целлюлоза, Н ₂ О, Penicillium	9,8	6,6	196	132	9,949	6,700
Синтетическое машинно-вязаное полотно, полимерный гидрогель	9,1	5,1	182	102	101,22	56,73
Полимерный гидрогель, влагосодержание 19 % мас.	9,2	5,8	184	116	0,131	0,083
Полимерный гидрогель, влагосодержание 14 % мас.	5,2	4	104	80	0,024	0,018
Нетканый синтетический волокнистый материал, спецраствор	7,6	4,4	152	88	49,673	28,758

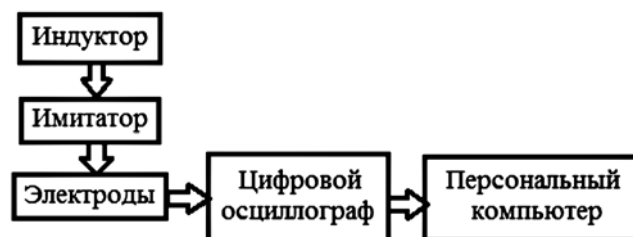


Рис. 2. Структурная схема экспериментальной установки для исследования влияния импульсного магнитного поля на образцы, соответствующие по своим электрическим параметрам тканям тела человека

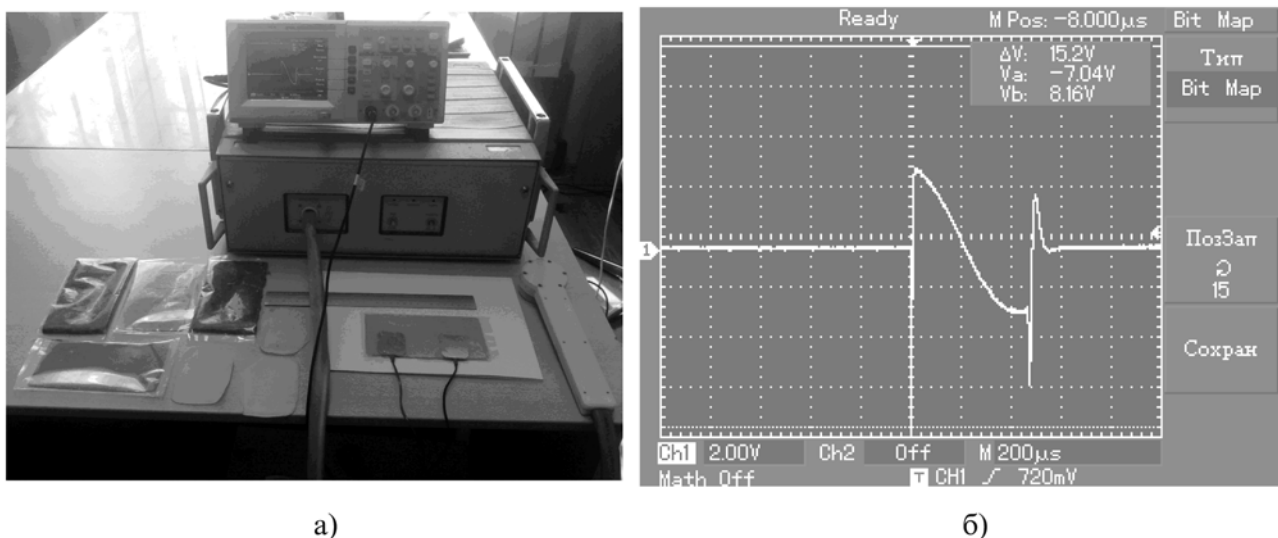


Рис. 3. Внешний вид измерительной установки и образцов имитаторов (а) и типичная форма импульса напряжения на экране осциллографа (б)

5. Roth Y., Zangen A., Hallett M. A coil design for transcranial magnetic stimulation of deep brain regions // J. Clin. Neurophysiol. 2002. № 19 (4). PP. 361-70.
6. Давыдов М.В. и др. Моделирование магнитотерапевтического воздействия на ткани мозга человека // Доклады БГУИР. 2012. № 3 (65). С. 85-90.
7. Пулко Т.А., Насонова Н.В., Давыдов М.В., Осипов А.Н., Лыньков Л.М. Композиционные влагосодержащие структуры для имитации биологической ткани // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 3. С. 9-15.
8. Fosterand K.R., Schwan H.P. Dielectric properties of tissues / In: C. Polkand, E. Postow eds. Hand book of Biological Effects of Electromagnetic Fields. – New York: CRC Press, 1996.
9. Аль-Адеми Я.Т.А., Пулко Т.А., Давыдов М.В., Насонова Н.В., Лыньков Л.М. Влагосодержащие экраны для защиты пользователей бытовых и промышленных СВЧ-источников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 4. С. 50-56.

Яхия Таха Абдо Аль-Адеми,
аспирант,
кафедра защиты информации,
Максим Викторович Давыдов,
доцент,
кафедра электронной техники и технологии,

Наталья Викторовна Насонова,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра защиты информации,
ст. научный сотрудник НИЛ «Материалы
и элементы электронной
и сверхпроводниковой техники»,
Татьяна Александровна Пулко,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра защиты информации,
ст. научный сотрудник НИЛ «Материалы
и элементы электронной
и сверхпроводниковой техники»,
Леонид Михайлович Лыньков,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой защиты информации,
научный руководитель НИЛ «Материалы
и элементы электронной
и сверхпроводниковой техники»,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: yahta66@yahoo.com

**Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов (МНТО ПМ) –
учредитель и издатель журнала «Медицинская техника».**

Журнал «Медицинская техника» издается с 1967 года. Журнал отражает на своих страницах последние научно-технические достижения и основные тенденции в развитии медицинской техники как в нашей стране, так и за рубежом. Журнал освещает опыт работы НИИ, КБ и предприятий, занятых созданием и изготовлением изделий медицинской техники (приборов, аппаратов, оборудования, инструментов, очковой оптики), а также опыт их использования в лечебно-профилактических учреждениях. Публикуемые материалы предназначены для разработчиков, научных работников, производственников, медицинских работников и затрагивают вопросы исследований, конструирования, расчетов, технологии производства медицинской техники, а также вопросы экономики и организации ее производства и эксплуатации. Журнал информирует о новых изделиях медицинской техники промышленного выпуска, о международных и региональных выставках, съездах, симпозиумах, посвященных медицинской технике. Журнал «Медицинская техника» переводится на английский язык издательством «Springer» под названием «Biomedical Engineering».

Журнал зарегистрирован в ВАК РФ как научное издание.

Журнал выходит 6 раз в год и распространяется по подписке.
Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать» – 72940.

В редакции можно оформить льготную подписку на 2015 год.
Стоимость годовой подписки (6 экз.) – 5700 руб.

Заявки принимаются по тел./факсу: **(495) 695-10-71**
или по e-mail: **kavalerov@mail.ru**.

Более подробная информация о журнале «Медицинская техника» –
на сайте: **www.mtjournal.ru**.