

## Особенности изучения методов защиты от СВЧ-излучения в курсе «Медицинская и биологическая физика»

В.А. БАННЫЙ<sup>1</sup>, А.Л. КАЗУЩИК<sup>1</sup>, Е.С. ПЕТРОВА<sup>1</sup>, О.М. ДЕРЮЖКОВА<sup>1,2</sup>

Рассмотрены методические аспекты преподавания в курсе «Медицинская и биологическая физика» действия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона на биологические объекты и возможные способы защиты от электромагнитных излучений. Показано, что радиопоглощающие материалы и электромагнитные экраны являются эффективным средством решения проблем электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности. Приведен пример лабораторной работы, разработанной в рамках данной тематики, уделяется внимание соответствию электромагнитного фона санитарно-эпидемиологическим нормам.

**Ключевые слова:** медицинская и биологическая физика, электромагнитное излучение, сверхвысокая частота, радиопоглощающий материал, электромагнитный фон, изотропная среда.

The methodological aspects of teaching the effects of superhigh-frequency electromagnetic radiation on biological objects and possible methods of protection against electromagnetic radiation in the course «Medical and biological physics» are considered. It is shown that radioabsorbing materials and electromagnetic shields are an effective means of solving problems of electromagnetic ecology and electromagnetic safety. An example of laboratory work developed within the framework of this topic is given, the attention is paid to the compliance of the electromagnetic background with sanitary and epidemiological standards.

**Keywords:** medical and biological physics, electromagnetic radiation, superhigh frequency, radioabsorbing material, electromagnetic background, isotropic medium.

**Введение.** Учебная дисциплина «Медицинская и биологическая физика» в комплексе со смежными курсами медицинского профиля, такими как функциональная диагностика, нормальная физиология и др., ставит перед собой задачи приобретения студентами компетенций, умений и практических навыков для формирования целостной картины влияния физических факторов окружающей среды на биологический организм и медицинские проявления таких воздействий.

Реальная взаимосвязь изучаемой дисциплины «Медицинская и биологическая физика» с задачами практической медицины позволяет осуществлять достаточно высокое стимулирование изучения учебного материала и обеспечивает мотивацию учебно-познавательной деятельности будущих врачей.

При изучении влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) на живой организм проявляется тесная связь физических и биологических компонентов базовых понятий, без которых невозможна реализация профессиональных навыков будущих врачей [1]–[3]. Студенты преимущественно изучают теоретические сведения о возможном неблагоприятном влиянии ЭМИ сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона на живой организм. Во вводной части занятия обращается внимание на причинно-следственные связи физических воздействий на организм и возникающих в нем биологических откликов. А именно, данное излучение способно привести к развитию различных функциональных и органических нарушений со стороны нервной, эндокринной, сердечно-сосудистой, иммунной, кроветворной и других систем организма. ЭМИ могут усугублять уже имеющиеся хронические заболевания или служить фактором, способствующим возникновению заболеваний другой этиологии. Длительное и регулярное воздействие СВЧ-излучения на организм человека оказывает отрицательное влияние на мозг, сосуды, кровь, лимфатические узлы, зрение, провоцирует образование опухолей. Без обеспечения генетически безопасного уровня ЭМИ и при несоблюдении требований санитарно-гигиенических норм безопасности такая техника вредна для здоровья людей [4], [5].

Одним из средств защиты биологических объектов от негативного влияния СВЧ-излучения являются радиопоглощающие материалы (РПМ), которые позволяют обеспечить требования норм электромагнитной экологии.

Таким образом, изучение в курсе «Медицинская и биологическая физика» теоретических основ действия ЭМИ на биологические объекты, физических характеристик РПМ, методов защиты от ЭМИ является актуальной и практико-ориентированной задачей в процессе подготовки специалистов медицинского профиля, так как электромагнитные поля (ЭМП) окружают нас постоянно и являются неотъемлемой частью нашей жизни.

**1. Основная часть.** Целью рассматриваемой в этой статье лабораторной работы «Оценка эффективности электромагнитных экранов в СВЧ-диапазоне» является изучение студентами экранирования как способа защиты от ЭМИ и проведение измерительных работ с экранами из доступных материалов (в том числе радиопоглощающих).

В теоретической части лабораторной работы «Оценка эффективности электромагнитных экранов в СВЧ-диапазоне» студенты знакомятся с примерами потенциально опасных источников ЭМП и ЭМИ и предельно допустимыми уровнями их воздействия на биологический организм, изучают методики измерения ЭМИ, способы защиты объектов от негативного влияния ЭМИ СВЧ-диапазона, факторы, влияющие на эффективность поглощения ЭМИ (амплитуда, плотность потока энергии, частота, поляризация, спектральный состав), а также рассматривают примеры лечебно-профилактических мероприятий по защите от ЭМИ.

**1.1 Радиопоглощающие материалы, поглощение энергии электромагнитной волны.** Эффективный способ, который позволяет обеспечить требования электромагнитной экологии, снизить до приемлемого уровня естественные и искусственные помехи при работе радиоэлектронных систем, основан на применении экранирующих и радиопоглощающих материалов на основе полимерных композитов. В них используются различные типы связующего и функциональных наполнителей, отличающиеся по физико-химическим и структурным характеристикам, вплоть до уникальных (соли ретинила Шиффа, биополимеры (хитин), сегнетомагнетики, киральные микроэлементы, нанотрубки на основе фуллеренов и другие).

Согласно литературным данным [6]–[9], типовыми наполнителями РПМ являются:

- электропроводящие порошкообразные материалы;
- проводящие углеродные, металлические и металлоуглеродные волокна, углеткани, металлические нити, пластинки, полоски фольги, обрезки проволоки, сетки сложной формы, решетки, резонансные элементы в виде крестообразных диполей или замкнутых проводников (колец) и т. п.;
- металлизированные углеродные и полимерные волокна, ткани, пленки, макросферы;
- магнитные наполнители;
- дисперсные полупроводники;
- диэлектрики, в частности, легко поляризуемые органические вещества (соли ретинила Шиффа), биополимеры (хитин).

Основной задачей при разработке РПМ является оптимизация их конфигурации, размеров, состава и структуры для обеспечения требуемого коэффициента отражения ЭМИ в заданном диапазоне частот при минимальных толщине и массе материала [10], [11]. В общем случае снижение энергии электромагнитной волны (ЭМВ) обусловлено не только ее рассеянием в результате взаимодействия со структурными неоднородностями РПМ и гашением за счет интерференции при переотражениях на границах раздела сред. Оно вызвано, главным образом, поглощением электромагнитной энергии вследствие присущих РПМ диэлектрических и магнитных потерь, а также переходом ее в другие виды энергии, в частности, в тепловую.

Для того, чтобы РПМ эффективно поглощал и мало отражал ЭМВ в широком диапазоне частот и углов их падения, необходимо выполнить два условия:

- волновое сопротивление РПМ должно быть согласовано со «свободным пространством» так, чтобы на границе двух сред отражение было минимально, и падающая волна максимально проходила внутрь материала;
- энергия волны, прошедшей в материал, должна им поглотиться.

Способность материала поглощать ЭМИ зависит от его электрических и магнитных свойств. Наиболее информативными характеристиками реакции среды на воздействие внешнего ЭМП являются частотные дисперсии комплексных величин диэлектрической и магнитной проницаемостей  $\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega)$ ,  $\mu(\omega) = \mu'(\omega) + i\mu''(\omega)$ , а также тангенсов углов диэлектрических и магнитных потерь  $tg\delta(\omega) = \varepsilon''(\omega)/\varepsilon'(\omega)$ ,  $tg\delta_m(\omega) = \mu''(\omega)/\mu'(\omega)$  ( $\omega = 2\pi\nu$  – круговая частота;  $\varepsilon$  и  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости материала;  $tg\delta$  и  $tg\delta_m$  – тангенсы углов диэлектрических и магнитных потерь).

Поглощение энергии ЭМВ, падающей на РПМ, обусловлено джоулевыми потерями, явлениями естественного ферромагнитного резонанса, вихревыми токами [4], [6], [11].

Отметим также, что экранирование ЭМИ основано на двух фундаментальных принципах: отражении и поглощении ЭМВ при переходе их из одной материальной среды в другую. Оба эти эффекта снижают энергию ЭМП, прошедшую через экран. Применение экранов в повседневной жизни не так эффективно, как увеличение расстояния между источником ЭМП и биообъектом.

**1.2 Оценка эффективности электромагнитных экранов в СВЧ-диапазоне.** Схема экспериментальной установки лабораторной работы «Оценка эффективности электромагнитных экранов в СВЧ-диапазоне» представлена на рисунке 1.

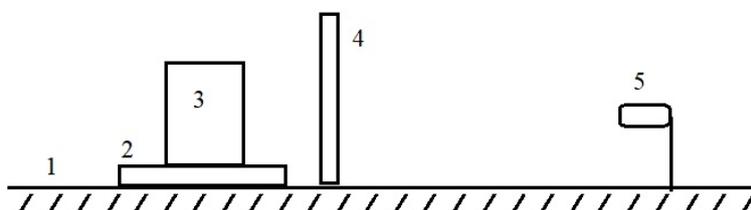


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для измерения интенсивности ЭМИ:

1 – лабораторный стол, 2 – поворотный диск, 3 – источник СВЧ-излучения, 4 – электромагнитный экран, 5 – измеритель уровня электромагнитного фона

На лабораторном столе размещаются источник ЭМИ на вращающемся диске с нанесенной шкалой угла поворота, держатель, с зафиксированным в нем измерителем уровня электромагнитного фона АТТ-2592, перемещаемый относительно источника ЭМИ по высоте и удалению, защитный электромагнитный экран [12]. На поверхность стола нанесена измерительная миллиметровая линейка.

Измеритель уровня электромагнитного фона АТТ-2592 является портативным прибором, предназначенным для безопасного измерения характеристик электромагнитного фона (поля) изотропным методом, снабжен 3-канальным датчиком, позволяющим проводить измерения одновременно по трем осям: X, Y, Z; измерение напряженности электрического поля в диапазонах 20 мВ/м...108 В/м и напряженности магнитного поля 53 мкА/м...286,4 мА/м; плотности потока энергии 0 мкВт/м<sup>2</sup>...30,93 Вт/м<sup>2</sup>, отображение текущего, максимального, среднего и максимального среднего значения.

Изотропный (трехосный) зонд упрощает процедуру измерения, поскольку общее значение поля определяется с помощью трех измерений, выполненных без изменения положения датчика: это обусловлено геометрией устройства, которое состоит из трех независимых широкополосных чувствительных элементов, расположенных ортогонально друг другу. На практике мощность каждого элемента измеряется в течение трех последовательных временных интервалов, предполагающих, что компоненты ЭМП постоянны во времени.

В руководстве по эксплуатации к измерителям электромагнитного фона Актаком АТТ-2592 включены таблицы (СанПиН). Отметим, что для студентов медицинского профиля весьма важным является акцентирование внимания сравнения полученных результатов с санитарно-эпидемиологическими нормами, приводимыми в методической разработке к занятию (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Предельно допустимые уровни электрической напряженности и уровни плотности потока энергии в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия, Т, ч	Электрическая напряженность, диапазон частот 50 МГц – 300 МГц, ЕПДУ, В/м	Плотность потока, диапазон частот 300 МГц – 300 ГГц, ППЭ ПДУ, мкВт/см <sup>2</sup>
8,0 и более	10	25
7,5	10	27
7,0	11	29
6,5	11	31
6,0	12	33
5,5	12	36
5,0	13	40
4,5	13	44
4,0	14	50
3,5	15	57
3,0	16	67
2,5	18	80
2,0	20	100
1,5	23	133
1,0	28	200
0,5	40	400
0,25	57	800
0,125 (для ЕПДУ), 0,2 (для ППЭ ПДУ) и менее	80	1000

Сравнивая показания прибора и табличные значения, студенты могут оценить время безопасного пребывания в месте, где находится источник ЭМИ.

В качестве источников СВЧ-излучения могут быть использованы сотовый телефон, СВЧ печь, персональный компьютер с Wi-Fi модулем. При использовании микроволновой печи из нее предварительно удаляется поворачивающийся столик, а в качестве нагрузки используется огнеупорный шамотный кирпич, устанавливаемый на неподвижную подставку. Передняя панель СВЧ печи является участком наиболее интенсивного излучения.

Узлы установки сменных защитных электромагнитных экранов обеспечивают их оперативную установку и замену. Сменные экраны имеют один типоразмер, но сформированы из различных полимерных композиционных материалов.

Данная лабораторная установка позволяет получить практические навыки измерения интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона, а также изучить методы защиты от радиоизлучения при работе с устройствами и аппаратами, содержащими СВЧ-генератор. Эксперименты позволяют определить зависимости плотности потока ЭМИ СВЧ-диапазона от расстояния до источника СВЧ волн и угла поворота, дать относительную оценку экранирующих свойств различных материалов.

**Заключение.** Таким образом, лабораторная работа «Оценка эффективности электромагнитных экранов в СВЧ-диапазоне», проводимая в рамках дисциплины «Медицинская и биологическая физика», позволяет обеспечить изучение и понимание студентами медицинского профиля актуальности защиты от ЭМИ на примере поглощающих экранов и сравнительной оценки полученных результатов с санитарно-эпидемиологическими нормами.

### Литература

1. Банний, В. А. Оценка уровня электромагнитного фона и способы защиты от СВЧ-излучения : учеб.-метод. пособ. / В. А. Банний. – Гомель : ГомГМУ, 2015. – 62 с.
2. Банний, В. А. Оценка уровня электромагнитного фона в курсе «Медицинской и биологической физики» / В. А. Банний, Е. С. Петрова, О. М. Дерюжкова // Актуальные вопросы научно-методической и учебно-организационной работы : традиционные ценности и инновационные технологии в образовании как фактор прогрессивного развития общества : сб. науч. ст. Респуб. науч.-метод. конф., Гомель, 22–23 февраля 2024 г. / ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2024. – С. 138–141.

3. Оценка параметров импульсных сигналов, применяемых в электростимуляции, с использованием новой экспериментальной установки в курсе медицинской и биологической физики / А. Л. Казушиц [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. – 2021. – № 18 (3). – С. 80–85.
4. Макаревич, А. В. Радиопоглощающие полимерные композиционные материалы в технике СВЧ / А. В. Макаревич, В. А. Банний // Материалы, технологии, инструменты. – 1999. – Т. 4, № 3. – С. 24–32.
5. Композиционные ферромагнетики и электромагнитная безопасность / А. Г. Алексеев [и др.]. – СПб. : НИИХ СПбГУ, 1998. – 296 с.
6. Михайлин, Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2009. – 660 с.
7. Поглотители СВЧ излучения на основе гофрированных композитов с углеродными волокнами / Д. С. Быченко [и др.] // Журнал технической физики. – 2016. – Т. 86, № 12. – С. 124–128.
8. Поглотители электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе полимерных композитов и киральных структур / Цянь Сонгсонг [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 4 (21). – С. 40–45.
9. Поглотители энергии электромагнитного излучения оптического и СВЧ диапазонов на основе полимерных композитов / В. А. Банний [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 64–68.
10. Влияние размерных и рецептурных параметров полимерных композитов на их радиофизические характеристики / В. А. Банний [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2000. – Т. 44, № 4. – С. 109–111.
11. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным электромагнитным экраном : физические модели и эксперимент / В. А. Банний [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2008. – № 2. – С. 45–51.
12. Банний, В. А. Оценка эффективности электромагнитных экранов в СВЧ-диапазоне в курсе «Медицинская и биологическая физика» / В. А. Банний, Е. С. Петрова, О. М. Дерюжкова // Актуальные проблемы медицины : сб. науч. ст. Респуб. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гомель, 13 ноября 2024 г. / ГГМУ. – Гомель, 2024. – Вып. 25, т. 2. – С. 86–88.

<sup>1</sup>Гомельский государственный  
медицинский университет

<sup>2</sup>Гомельский государственный  
университет имени Франциска Скорины

Поступила в редакцию 27.03.2025