

УДК 620.22 – 026.61

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЛАБЛЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ СШИТОГО ПОЛИМЕРНОГО ГИДРОГЕЛЯ

Я.Т.А. АЛЬ-АДЕМИ, Ю.В. СМИРНОВ, Т.А. ПУЛКО, Н.В. НАСОНОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 16 мая 2014*

Исследованы экранирующие характеристики гидрофильного полимера, представляющего собой сшитый полиэлектролитный гидрогель, на основе которого были сформированы гибкие модули для экрана электромагнитного излучения.

*Ключевые слова:* защита от электромагнитного излучения, экранирующие характеристики, сшитый полимерный гидрогель.

### Введение

Экранирование электромагнитных полей является актуальной задачей информационной безопасности, электромагнитной совместимости, электромагнитной экологии, защиты здоровья, и т.д. В настоящее время на рынке представлены различные типы устройств для защиты от электромагнитного излучения мобильных средств связи или последствий такого воздействия.

Выпускаемые конструкции электромагнитных экранов по конструктивному признаку можно подразделить на: наклейки на область динамика, насадки на антенну, нейтрализаторы (антенные структуры, кристаллы, резонаторы, дифракционные решетки и пр.), активные структуры и генераторы, телефонная гарнитура hands-free, чехлы, вкладыши [1–3].

Предлагаемые средства защиты от воздействий электромагнитных полей нуждаются в дополнительных требованиях по времени их эксплуатации, сохранению гибкости и свойств, при воздействии пониженных атмосферных температур, возможностью их встраивания в современные помещения, индивидуальные виды одежды различного назначения.

Целью данной работы является исследование наноструктурированного гидрофильного материала со стабильными свойствами, управляемыми экранирующими характеристиками для использования их в системах защиты информации от утечки по техническим каналам, а также для защиты пользователей персональных компьютеров и оргтехники от повышенных уровней электромагнитных излучений, для защиты от электромагнитного излучения мобильных средств связи или последствий такого воздействия.

Универсальными материалами, включающими целый ряд химических структур, используемых для получения широкого диапазона применений в совершенно отличающихся друг от друга секторах, являются основные гидрофильные полимеры. Для применения гидрофильных полимеров в составе экранирующих конструкций, они должны обладать поверхностно-активными, адгезионными, пленкообразующими и водоудерживающими свойствами [4].

## Теоретическая часть

Полиэлектrolитные гидрогели обеспечивают высокие водоудерживающие свойства биотехнических средств, а также позволяют ввести в полимерную матрицу различные органические и неорганические компоненты.

Основой для создания гидрогелей может служить целый ряд водорастворимых веществ, чаще всего гидрогели состоят из искусственно синтезированных полимеров, белков и природных молекул. Пространственная структура гидрогелей является результатом поперечной сшивки полимеров, формирующих в результате нерастворимую структуру в окружающем растворе. По содержанию воды и эластичности гидрогели схожи с биологическими тканями, что дает возможность их широкого применения. Содержание воды и механическая прочность гидрогелей схожи по значениям с человеческими тканями.

Для исследований был выбран полиэлектролитный гидрогель на основе водно-солевого раствора гидролизата полиакрилонитрильного волокна. Используемый для исследований сшитый полимерный гидрогель представляют собой нерастворимую сеть гидрофильных полимеров, способную поглощать воду и биологические жидкости. Время начала гелеобразования существенно зависит от концентрации полимера (рис. 1) [5].

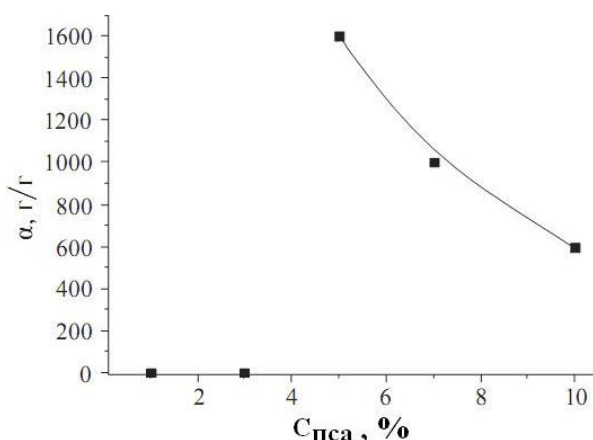


Рис. 1. Зависимость водопоглощения полиэлектролитного гидрогеля от концентрации сшивающего агента

Характерным свойством пространственно сшитых гидрогелей является способность к ограниченному набуханию в воде и других полярных жидкостях, обратному процессу уменьшения объема полимера с выделением ранее сорбированной жидкости под действием изменений во внешней среде (рН, температура и др.). Изучение деталей процессов набухания дисперсных полимеров в воде и других полярных жидкостях, а также процессов адсорбции ими паров растворителей различной природы имеет исключительно важное значение при решении ряда актуальных задач [6].

Получение гидрогелей в высокодисперсном состоянии позволяет придать им определенные свойства, отсутствующие или слабо выраженные у монолитных гидрогелей. Так, при переходе к полимерным микрогранулам удельная поверхность гидрогелей резко возрастает, что крайне важно с точки зрения управления различными каталитическими процессами. При уменьшении вдвое радиуса гидрогелевой микросферы скорость фазовых переходов (например, из сколлапсированного в набухшее состояние), увеличивается вчетверо.

## Методика проведения эксперимента

Как уже было установлено на предыдущих этапах исследований, поперечно-сшитые полимеры на основе гидрофильных макромолекул способны к равновесному набуханию в воде и формируют нерастворимую объемную сеть (каркас), пустоты в котором заполнены низкомолекулярным растворителем — дисперсионной средой [7].

Химический состав и молекулярный вес определяют плотность поперечных сшивок, которая, в свою очередь, влияет на набухание и величину пор геля. Физические характеристики гидрогелей помогают определить набухание гидрогелей или количество поглощенной ими воды [8, 9].

Таким образом, на основе выбранного полиэлектролитного гидрогеля были изготовлены модули в виде плиток размером  $700 \times 700 \times 2$  мм и  $700 \times 700 \times 10$  мм. Полимеризация образцов осуществлялась в течении 48 ч.

Поскольку диэлектрические потери в диапазоне частот СВЧ обусловлены ориентационной поляризацией молекул воды во внешнем электрическом поле, необходимым является исследование электромагнитных характеристик выбранных материалов. С гигиенической точки зрения к радиочастотному диапазону относятся колебания частотой от 30 кГц до 300 ГГц и их воздействие на человека электромагнитного излучения нормируется, исходя из частотного диапазона, уровня мощности и продолжительности [10]. Поэтому, оценка эффективности экранирования уровня электромагнитных излучений исследуемых полимерных модулей, проводилась в лабораторных условиях с помощью измерительного комплекса SNA 0,01–18 в диапазоне частот 0,01...3 ГГц и 2...18 ГГц, выбранном с учетом дальнейшего применения экранов электромагнитного излучения.

При проведении измерений исследуемый образец экрана закреплялся между фланцев волноводов измерительного тракта. Измерения проводились, как для модуля экрана, так и для модуля с металлическим отражателем. В ходе измерений были получены частотные зависимости коэффициентов передачи  $S_{21}$  (по модулю равен значению ослабления электромагнитного излучения) и отражения  $S_{11}$ .

### Обсуждение результатов

Исследовались экранирующие характеристики сформированных широкоформатных модулей на основе сшитого полимерного гидрогеля в диапазоне 0,7...18 ГГц (рис. 2, 3). Размер модулей составлял  $700 \times 700$  мм при толщине 5 мм и равновесном влагосодержании не менее  $34 \pm 2$  %.

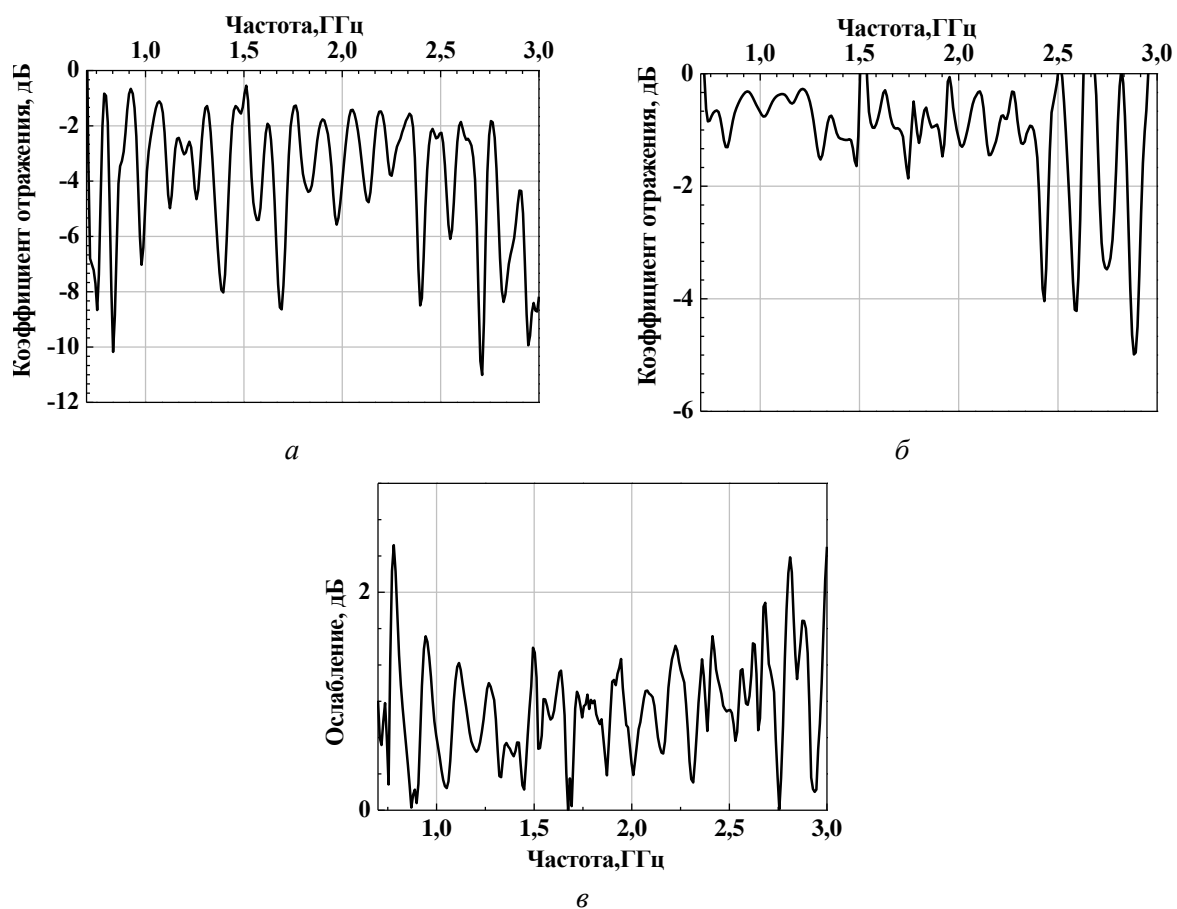


Рис. 2. Частотные зависимости экранирующих характеристик широкоформатных модулей на основе сшитого полимерного гидрогеля в частотном диапазоне 0,7...3,0 ГГц: *а* – коэффициент отражения ЭМИ без металла; *б* – коэффициент отражения ЭМИ с металлом; *в* – ослабление ЭМИ

Характеристика коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 0,7...3 ГГц (рис. 2) находится в пределах  $-1...-10$  дБ и носит резонансный характер. При дополнительном использовании металлического отражателя значение коэффициента отражения увеличивается до  $0...-5$  дБ. При этом характеристика ослабления ЭМИ носит равномерный характер и находится в пределах  $0...2,5$  дБ.

С ростом частоты в диапазоне 2...17 ГГц (рис. 3) коэффициент отражения ЭМИ находится в пределах  $0...17$  дБ при ослаблении ЭМИ  $0...6$  дБ. Использование металлического отражателя за исследуемым модулем позволяет получить коэффициент отражения ЭМИ порядка  $0...-10$  дБ.

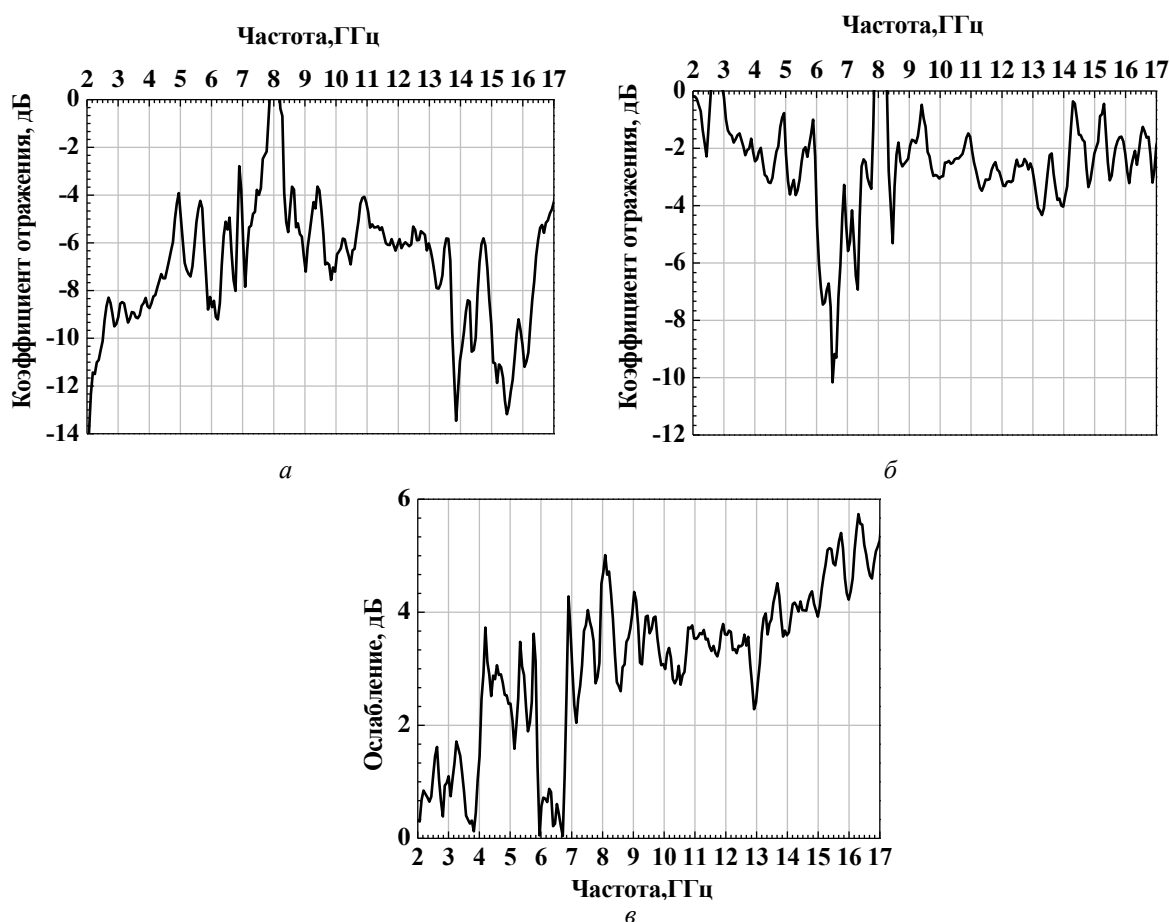


Рис. 3. Частотная зависимость экранирующих характеристик широкоформатных модулей на основе сшитого полимерного гидрогеля в частотном диапазоне 2...17,0 ГГц: *а* – коэффициент отражения ЭМИ без металла; *б* – коэффициент отражения ЭМИ с металлом; *в* – ослабление ЭМИ

Исследовались экранирующие характеристики сформированных широкоформатных модулей на основе сшитого полимерного гидрогеля в диапазоне 0,7...18 ГГц (рис. 4, 5). Размер модулей составлял  $700 \times 700$  мм при толщине 10 мм и равновесном влагосодержании не менее  $34 \pm 2$  %.

На основе модуля из сшитого полимерного гидрогеля для защиты организма человека от воздействия электромагнитного излучения мобильных радиотелефонов разработано устройство, которое представляет собой модуль из полимерного сшитого гидрогеля уложенный между двумя слоями полиамидной герметизирующей пленки, размещенный в декоративном корпусе с креплениями [7].

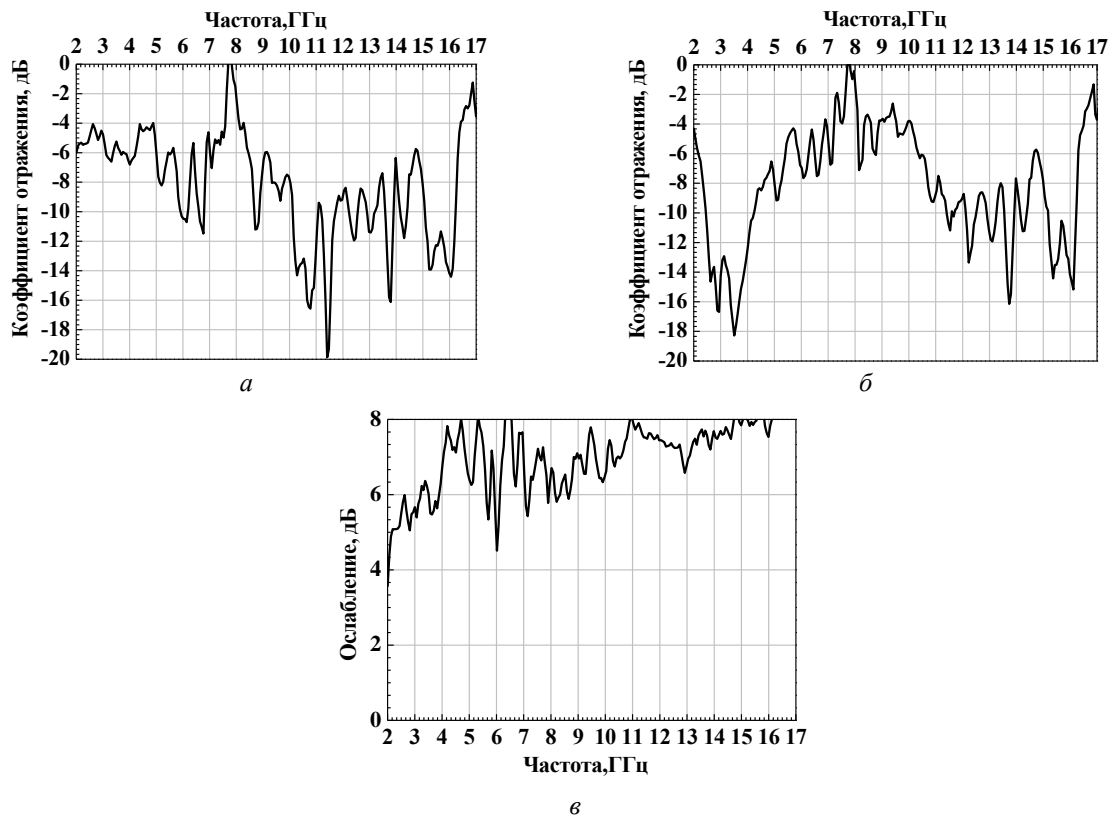


Рис. 4. Частотные зависимости экранирующих характеристик широкоформатных модулей на основе сшитого полимерного гидрогеля в сетке в частотном диапазоне 2...17,0 ГГц: *a* – коэффициент отражения ЭМИ без металла; *б* – коэффициент отражения ЭМИ с металлом; *в* – ослабление ЭМИ

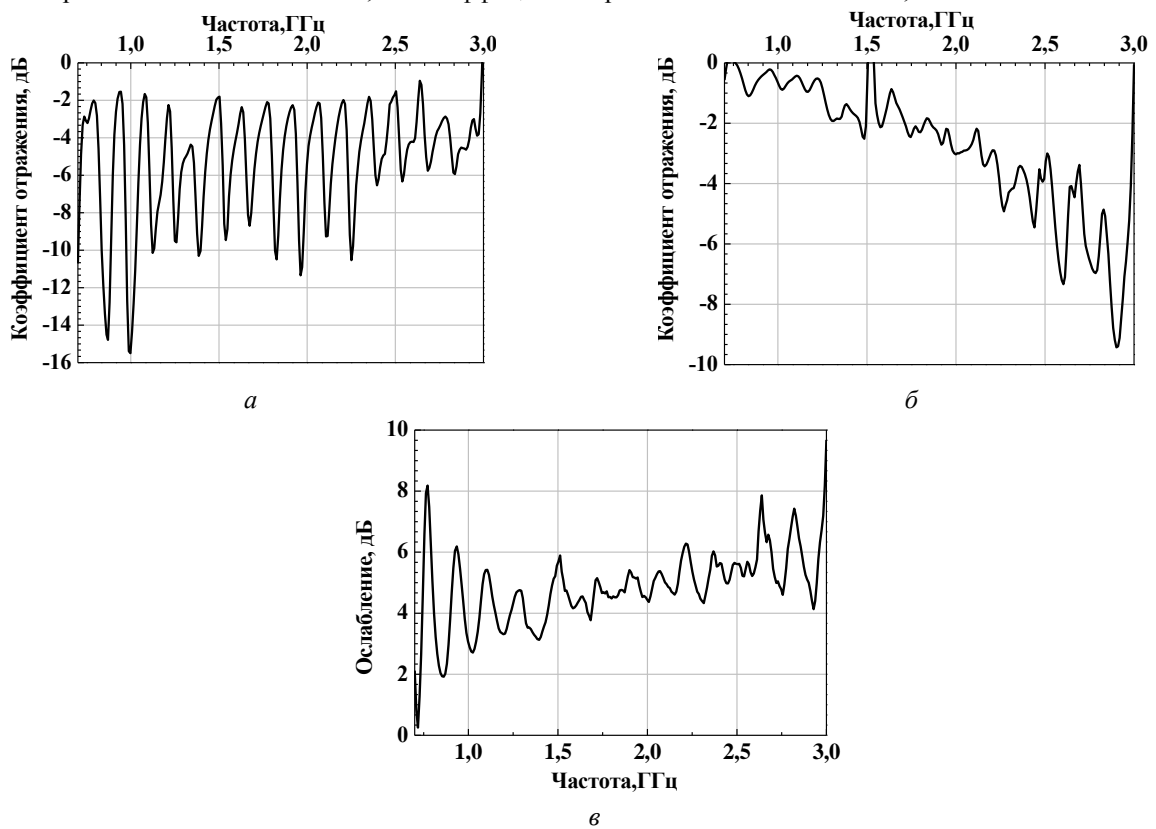


Рис. 5. Частотные зависимости экранирующих характеристик широкоформатных модулей на основе сшитого полимерного гидрогеля в сетке в частотном диапазоне 0,7...3 ГГц: *a* – коэффициент отражения ЭМИ без металла; *б* – коэффициент отражения ЭМИ с металлом; *в* – ослабление ЭМИ

## Заключение

Влагосодержащий полимерный гидрогель позволяет сформировать поглощающий слой, комплексное сопротивление которого аналогично кожному покрову человека, что позволяет сохранить диаграмму направленности радиотелефона независимо от наличия устройства защиты. Вследствие сферической формы коллоидных частиц, поверхность поглощающего слоя имеет геометрически неровную форму, что создает условия дополнительного рассеивания электромагнитной волны, излучаемой антенной телефона, направленной в сторону человека. Электропроводность пропитывающего раствора приводит к увеличению общей эффективности конструкции за счет повышения отражения энергии ЭМИ.

В отличие от ранее предложенных устройств защиты организма человека от воздействий ЭМИ мобильных телефонов, данное устройство характеризуется надежным консервированием водных растворов в составе коллоидных частиц гидрогеля, вследствие процессов адсорбции ими паров растворителей различной природы. Таким образом, даже при нарушении герметизирующего слоя устройства его поглощающие свойства не изменятся в течение длительного периода времени. Это имеет существенное значение при создании водосодержащих экранирующих материалов со стабильными свойствами.

## ELECTROMAGNETIC WAVES ATTENUATION AND REFLECTION CHARACTERISTICS OF MATERIALS BASED ON CROSSLINKED POLYMER HYDROGEL

Y.T.A. AL-ADEMI, Y.V. SMIRNOV, T.A. PULKO, N.V. NASONOVA

### Abstract

The shielding characteristics of hydrophilic polymer, which is a crosslinked polyelectrolyte hydrogels and used for developing of flexible modules for electromagnetic radiation shields, are studied.

### Список литературы

1. Cellular phones radiation protection, mobile phones radiation protection // Cell phone accessories, cellular phone headsets. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.waveshield.com](http://www.waveshield.com). – Дата доступа: 01.02.2014.
2. MicroSafe Gemstone Cap. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ioffer.com/i/MicroSafe-Gemstone-Cap-Cell-Phone-Phone-Shield-2621489>. – Дата доступа: 01.02.2014.
3. Штогрин В.И., Швырев Ю.Н., Шатохин А.Н. Чехол для радиотелефонов / Патент РФ №2234200.
4. Круль Л.П., Матусевич Ю.И., Гринюк Е.В. и др. // Тр. Бел. гос. ун-та. Физио-логические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2008. С. 59–69.
5. Гринюк Е.В., Фомина Е.К., Якимцова Л.Б. и др. // Сб. ст. «Свиридовские чтения». 2012. Вып. 8. С. 194.
6. Литманский А.А., Пописов И.Н. // Высокомолек. соед. 1997. Т. Б 39. С. 323.
7. Элиас Г.-Г. Мегамолекулы. Л., 1990.
8. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М., 1975.
9. Harrison K. Introduction to polymeric scaffolds for tissue engineering. USA, 2007.
10. СанПиН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» № 162.
11. Лыньков Л.М., Насонова Н.В., Борботько Т.В., Пулко Т.А., Смирнов Ю.В., Аль-Адеми Я.Т.А. Устройство защиты организма человека от воздействия электромагнитного излучения мобильных радиотелефонов/ Патент РБ № 9096.