

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 504.6:537.612

**КАЗЕКА**  
Александр Анатольевич

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА  
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия  
медицинского назначения

Минск 2012

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

**Научный руководитель**      **Борботько Тимофей Валентинович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

**Официальные оппоненты:**      **Колешко Владимир Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Интеллектуальные системы» Белорусского национального технического университета

**Кострикин Анатолий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры метрологии и стандартизации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

**Оппонирующая организация:** Белорусский государственный университет

Защита состоится «23» февраля 2012 г. в 14<sup>00</sup> на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных технологий привело к увеличению количества антропогенных источников электромагнитного излучения. Их воздействие на организм человека может привести к отрицательным последствиям для его здоровья.

Особого внимания заслуживают такие источники радиоизлучения, как персональные компьютеры и сотовые телефоны. Их работа сопровождается электромагнитным излучением в диапазоне частот от 10 кГц до 2 ГГц. Воздействие излучения от таких устройств на организм человека снижает его иммунитет, работоспособность, увеличивает риск заболеваний.

Несмотря на то, что в настоящее время пока не установлены количественные связи между уровнями, диапазонами частот радиоизлучений и теми или иными заболеваниями человека, проводится ряд организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на обеспечение оптимальных условий его нахождения вблизи сотовых телефонов и персональных компьютеров. Инженерно-технические мероприятия направлены на снижение воздействия радиоизлучений за счет усовершенствования элементной базы таких технических средств, а также на разработку устройств защиты.

Существующие технические решения, предназначенные для защиты человека от радиоизлучений, имеют конструктивные исполнения, которые не всегда оправданы с точки зрения их эффективности. Применение различных, в том числе металлических, материалов для их создания влияет на распределение электромагнитной энергии от источника излучения в пространстве, что в свою очередь приводит к увеличению её воздействия на организм человека и повышению риска его заболевания.

В данной работе приведены результаты разработки и исследования конструкций устройств защиты организма человека, являющихся звеном биотехнической системы (человек – устройство защиты – источник радиоизлучения), предназначенных для защиты организма человека от влияния радиоизлучения в широком диапазоне частот за счет использования многослойных конструкций устройств защиты на основе водосодержащих материалов, характеризующихся высокой эффективностью и низкой стоимостью.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Связь работы с крупными научными программами, темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 35-о от 26.02.2008 г.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках ГКПНИ «Композиционные наноматериалы и структуры для микроволновой электроники на основе раствородержающих пористых порошкообразных и органических матриц» (2006 – 2010 гг., № г.р. 20063326) и зарубежного контракта (г. Братислава, Словакия) «Разработка, изготовление и поставка базовых модулей широкодиапазонных поглотителей электромагнитного излучения» (х/д № 05-1060, 2005 г.).

### Цель и задачи исследования

Целью работы состоит в создании устройств защиты организма человека от радиоизлучения (сотовый телефон, персональный компьютер).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Установить количественные характеристики влияния радиоизлучения на организм человека в зависимости от качественных показателей технических устройств защиты, используя математическое моделирование (программный пакет XFDTD, реализующий метод конечных разностей FDTD).

2. Разработать аппаратно-программный комплекс для оценки эффективности устройств защиты организма человека от радиоизлучения (персональный компьютер, сотовый телефон).

3. Разработать технологии изготовления устройств защиты организма человека от радиоизлучения персонального компьютера и сотового телефона.

4. Разработать конструкции устройств защиты организма человека от радиоизлучения персональных компьютеров, сотовых телефонов и рекомендации по применению устройств защиты от излучений базовых станций сотовой связи, устройств отображения медико-биологической информации (медицинские мониторы), генераторов электромагнитного шума, СВЧ-печей, радиоэлектронной аппаратуры.

Объектом исследования и разработки выбраны устройства защиты организма человека от радиоизлучений персонального компьютера и сотового телефона.

Предметом исследования являются характеристики ослабления и отражения электромагнитных волн устройствами защиты, а также их влияние

на распределение электромагнитных полей (диаграмма направленности) источника радиоизлучения в пространстве.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Результаты исследований (математическое моделирование) взаимодействия радиоизлучений с защитными элементами и биологическим объектом (голова человека), устанавливающие доминирующую проникающую способность вектора магнитной составляющей поля по сравнению с вектором электрической составляющей, и влияние объекта и устройства его защиты на диаграмму направленности источника радиоизлучения.

2. Рекомендации по снижению воздействия на организм человека радиоизлучений сотового телефона (до ста раз по мощности) за счет увеличения расстояния от источника (частота 1800 МГц) до биологического объекта ( $\epsilon = 43,2$ ,  $\sigma = 1,29$ ), что приводит к уменьшению значения его коэффициента передачи и одновременному увеличению коэффициента отражения.

3. Методика оценки эффективности (снижение мощности облучения биологического объекта) различных защитных элементов, основанная на регистрации, накоплении и статистической обработке результатов измерений при условии изменяющегося уровня излучения источника и обосновании их усреднения (на интервале времени не менее 20 с после включения источника излучения), что позволило разработать аппаратно-программный комплекс для обеспечения приема излучения сотового телефона стандарта GSM.

4. Обоснование конструкций экранов электромагнитного излучения и способа их изготовления, основанного на формировании водосодержащих волокнистых материалов, разделяемых слоем металла с толщиной не менее толщины скин-слоя, что позволило снизить мощность радиоизлучения до -17,8 дБм на частоте 1800 МГц.

### **Личный вклад соискателя**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Личный вклад заключается в проведении исследований, научном обосновании подхода к созданию и использования материалов для построения устройств защиты организма человека от радиоизлучения персонального компьютера и сотового телефона, непосредственном участии в проведении всех экспериментов по их исследованию. Автором были разработаны и модернизированы аппаратно-программные комплексы для автоматизации и повышения эффективности проведения экспериментов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводилось с научным руководителем д-м техн. наук Г.В. Борботько. Основными соавторами опубликованных работ являются д-р техн. наук Т.В. Борботько, д-р техн. наук Л.М. Лыньков, д-р техн. наук А.В. Сидоренко, канд. техн. наук А.М. Прудник, канд. техн. наук Н.В. Насонова.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертации обсуждались на V Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Новополоцк, Беларусь, 2008 г.); Международной научно-практической конференции «Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров» (Минск, Беларусь, 2008 г.); International Conference «Nano-Design, technology, computer simulations NDTC'S'08» (Minsk, Belarus, 2008); V, VI Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2008», «Медэлектроника – 2010» (Минск, Беларусь, 2008 г., 2010 г.); 18th, 19th International conference Electromagnetic disturbances (Vilnius, Lithuania, 2008; Białystok, Poland, 2009); 2-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2009» (Минск, Беларусь, 2009 г.); 7-й Международной научно-технической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, Беларусь, 2009 г.); 10-й международной научной конференции «Сахаровские чтения 2010 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, Беларусь, 2010 г.); VI, VII, VIII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Нарочь, Беларусь, 2007, 2009 г.); XV Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Нарочь, Беларусь, 2010 г.); 6-й Международной молодежной, научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2010» (Севастополь, Крым, 2010 г.); XVI Научно-практической конференции «Комплексная защита информации» (Гродно, Беларусь, 2011 г.).

### **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 25 печатных работ, в том числе 1 раздел в монографии, 5 статей в научных журналах, 15 статей в сборниках научных статей и материалов конференций, 4 тезиса докладов. Получено 2 патента Республики Беларусь на полезную модель. Без соавторов опубликовано 6 работ, из которых 1 статья в научном журнале, 3 статьи в сборниках материалов конференций, 2 тезиса докладов. Общий объем

публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь, составляет 4,2 авторского листа.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и двух приложений. В первой главе проведен анализ воздействия антропогенных источников радиоизлучений на организм человека, существующих организационных и инженерно-технических мероприятий по их снижению. Во второй главе приводятся обоснование выбора материалов для создания экранов электромагнитного излучения и описание методик для исследования их экранирующих характеристик. Третья глава содержит результаты моделирования взаимодействия организма человека с радиоизлучением сотового телефона и персонального компьютера, в том числе при размещении между ними устройств защиты. Полученные результаты использованы для разработки конструкций устройств защиты человека от радиоизлучений. Технологии их изготовления представлены в четвертой главе. Приведены рекомендации по практическому их применению. Общий объем диссертационной работы составляет 152 страницы, включая 82 страницы машинописного текста, 96 иллюстраций на 39 страницах, 12 таблиц на 6 страницах, библиографический список из 156 наименований на 13 страницах, 25 собственных публикаций автора на 4 страницах и 2 приложения на 8 страницах.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость в проведении исследований, связанных с разработкой устройств защиты организма человека от воздействия радиоизлучений персонального компьютера (ПК) и сотового телефона.

В **первой главе** приведены результаты анализа технической литературы, где отражаются особенности воздействия радиоизлучения на биологические объекты (организм человека), которые обусловлены колебаниями молекул воды, содержащихся в его тканях под действием электромагнитных полей (ЭМП). Особого внимания заслуживают источники радиоизлучения, к которым относится персональный компьютер (ПК) и сотовый телефон. Персональный компьютер формирует ЭМП в широком диапазоне частот от 10 кГц до

1000 МГц, мощность которого варьируется в широких пределах от 1 мВт до 100 мВт и зависит от состава аппаратных средств и режима их функционирования. Для профилактики заболеваний, вызываемых воздействием радиоизлучения от такого источника, используется нормирование ЭМП совместно с другими организационными мероприятиями, определяющими регламент работы в зоне действия источника излучения, а также инженерно-технические методы защиты. Последние направлены на усовершенствование элементной базы, а также на разработку устройств защиты, обеспечивающих снижение уровня радиоизлучения ПК за счет их закрепления на нем, или применяемые в виде защитной одежды пользователя.

Источники радиоизлучения, к которым относится сотовый телефон, излучают электромагнитные волны (ЭМВ) в полосе частот от 400 до 2000 МГц. Мощность их излучения изменяется в зависимости от наличия помех в канале связи. Максимальный уровень радиоизлучения сотового телефона нормируется, и степень воздействия на организм человека может быть оценена с помощью параметра SAR, обеспечивающего только частную оценку. Снижение уровней радиоизлучения сотового телефона выполняется за счет усовершенствования конструкции антенны и применения устройств защиты в виде экранирующих чехлов, корпусов, а также наклеек из проводящих элементов, закрепляемых на корпусе сотового телефона.

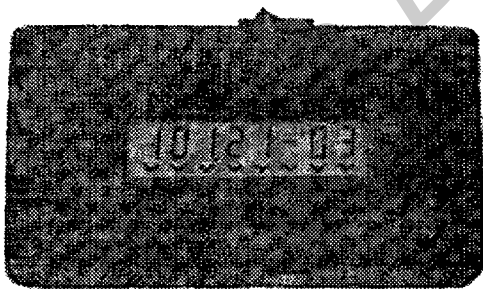
Показано, что при создании устройств защиты, обеспечивающих подавление радиоизлучения вышеуказанных источников, не учитывается их влияние на параметры самого источника излучения и особенности его функционирования, в соответствии с чем эффективность их невысокая при значительной стоимости. Решение данной проблемы требует разработки модели взаимодействия радиоизлучения источника с устройством защиты с учетом расположения защищаемого им биологического объекта, что позволит обосновать выбор материалов и разработать конструкцию устройства защиты на их основе.

Во второй главе показано, что для создания устройств защиты биологических объектов (человека) от радиоизлучения могут использоваться экраны электромагнитного излучения (ЭМИ), выполненные на основе металлических, композиционных и водосодержащих материалов. При их выборе необходимо учитывать характеристики ослабления и отражения ЭМВ, требуемое значение которых можно получить за счет создания многослойных конструкций на их основе, а контроль экранирующих характеристик возможно выполнить за счет использования автоматизированных измерительных комплексов например измерителя модуля коэффициента передачи и отражения SNA 0,01–0,18.



Для контроля уровня радиоизлучения источников (персональный компьютер) и оценки эффективности их экранирования различными конструкциями устройств защиты разработана методика измерения уровня радиоизлучения в диапазоне частот от 10 кГц до 1000 МГц, основанная на измерении напряженностей ЭМП с учетом уровня электромагнитного фона в помещении, в котором выполняются измерения. Усреднение полученных результатов выполняется с использованием метода скользящего среднего, что позволяет уменьшить случайную погрешность измеряемых параметров и улучшить наглядность полученных результатов при условии обработки динамически изменяющихся по амплитуде и частоте сигналов.

Разработан аппаратно-программный комплекс (АПК) для контроля уровня источников радиоизлучения (сотовый телефон) в полосе частот 900–2000 МГц, а также входящий в состав АПК макетный образец устройства (рисунок 1) для проведения экспресс-оценки эффективности устройств защиты человека от воздействия радиоизлучения сотовых телефонов.



**Рисунок 1 – Внешний вид макетного образца устройства для оценки уровня мощности радиоизлучения сотовых телефонов**

Для повышения достоверности полученных результатов при условии изменяющегося уровня радиоизлучения (сотового телефона) предложено выполнять их накопление и усреднение на интервале времени равном не менее 20 секунд с начала установления сеанса связи, когда наблюдается максимальный уровень радиоизлучения, что позволяет получить случайную погрешность до 0,6 дБм, абсолютную погрешность измерений не более 1,2 дБм и систематическую погрешность не более 1 дБм. Результаты измерений уровней мощности сотового телефона представлены на рисунке 2.

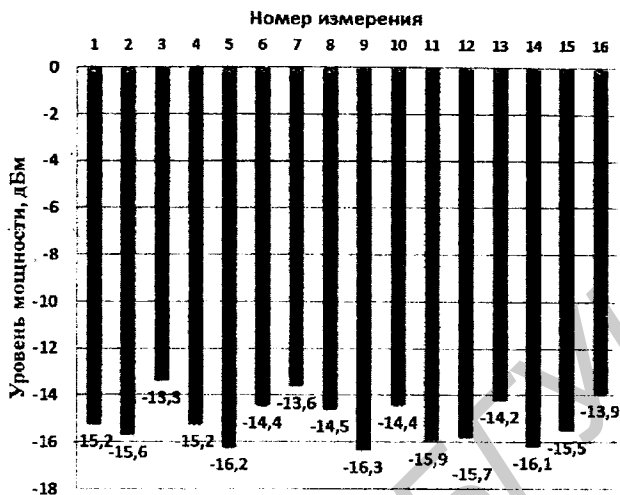
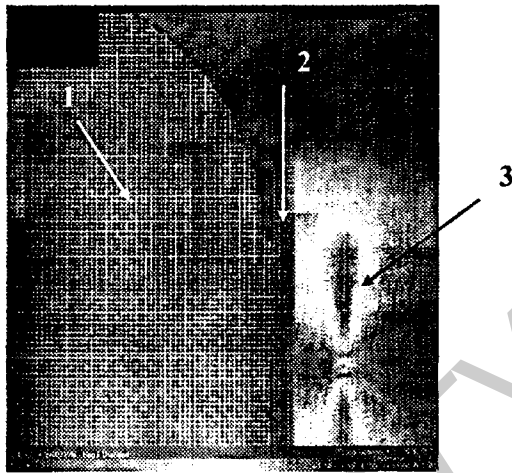


Рисунок 2 – Результаты измерений уровней мощности сотового телефона

В третьей главе приведены результаты моделирования взаимодействия радиоизлучения с биологическим объектом (человеком) и устройством его защиты. Предложено использовать метод конечных разностей (FDTD), обеспечивающий выполнение расчетов электромагнитного поля с учетом граничных условий и свойств среды его распространения, параметров излучаемого сигнала, коэффициентов отражения и передачи в широком диапазоне частот, а также диаграммы направленности источника излучения, что позволяет количественно оценить поглощение и отражение ЭМВ всеми компонентами биотехнической системы, а также степень влияния биологического объекта и устройства защиты на источник радиоизлучения.

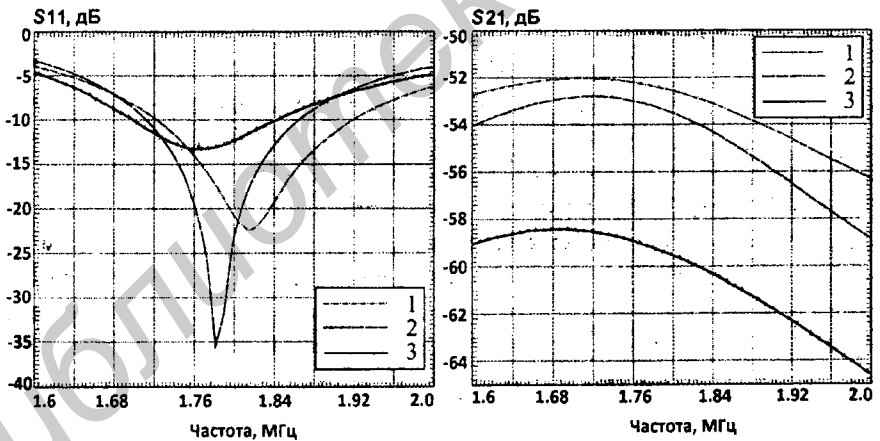
С использованием метода конечных разностей создана модель взаимодействия радиоизлучения с биологическим объектом (голова человека) и устройством защиты (рисунок 3). Показано, что большую проникающую способность имеет магнитная составляющая ЭМВ, а электрическая составляющая поглощается биологическими тканями человека на частоте 1800 МГц.

Оценка влияния биологического объекта на источник радиоизлучения выполнялась на основе результатов моделирования при различных расстояниях между ними. Установлено, что увеличение расстояния от биологического объекта до источника излучения с 10 до 50 мм (рисунок 4) приводит к уменьшению коэффициента передачи с -53 до -60 дБ и увеличению коэффициента отражения с -35 до -12 дБ на частоте 1800 МГц.



1 – голова человека; 2 – устройство защиты; 3 – источник радиоизлучения

Рисунок 3 – Изображение фрагментов модели биотехнической системы



1 –  $R = 10$  мм; 2 –  $R = 20$  мм; 3 –  $R = 50$  мм

Рисунок 4 – Зависимости коэффициентов отражения ( $S_{11}$ ) и передачи ( $S_{21}$ ) от частоты и расстояния от источника радиоизлучения до биологического объекта (голова человека)

При этом происходит увеличение диаграммы направленности источника радиоизлучения в горизонтальной плоскости с  $-23$  до  $-8$  дБ (угол  $280^\circ$ ) и в вертикальной плоскости с  $-45$  до  $-15$  дБ (угол  $205^\circ$ ) (рисунок 5), что обуславливает снижение его воздействия на биологический объект.

Для исследования влияния устройств защиты на распространение радиоизлучения источника были построены три модели экранов с учетом их линейных размеров по длине  $L = 80, 120$  мм, ширине  $H = 10, 20, 40, 60$  мм и расстояния между экраном ЭМИ и источником излучения  $R = 10, 20, 50$  мм. Первая конструкция была выполнена из металлического экрана, которая является типовой и используется в большинстве устройств защиты. Установлено, что использование металлического экрана (размерами  $120 \times 60$  мм), размещаемого между защищаемым объектом и источником излучения обеспечивает снижение влияния его на биологический объект путем уменьшения коэффициента передачи на  $24$  дБ ( $250$  раз по мощности) при коэффициенте отражения  $1$  дБ, что обусловлено увеличением площади экрана.

При увеличении расстояния между металлическим экраном и источником радиоизлучения с  $10$  мм до  $50$  мм коэффициент отражения уменьшается с  $-1,0$  до  $-10,6$  дБ, а коэффициент передачи увеличивается с  $-82,4$  до  $-76,8$  дБ, что связано с дифракцией ЭМВ, и приводит к поглощению радиоизлучения биологическим объектом за счет многократного переотражения между ним и металлическим экраном.

Для уменьшения переотражений ЭМВ между биологическим объектом и экраном, а также снижения влияния на распространение радиоизлучения источника была смоделирована конструкция водосодержащего экрана с электрическими параметрами, аналогичными биологическому объекту.

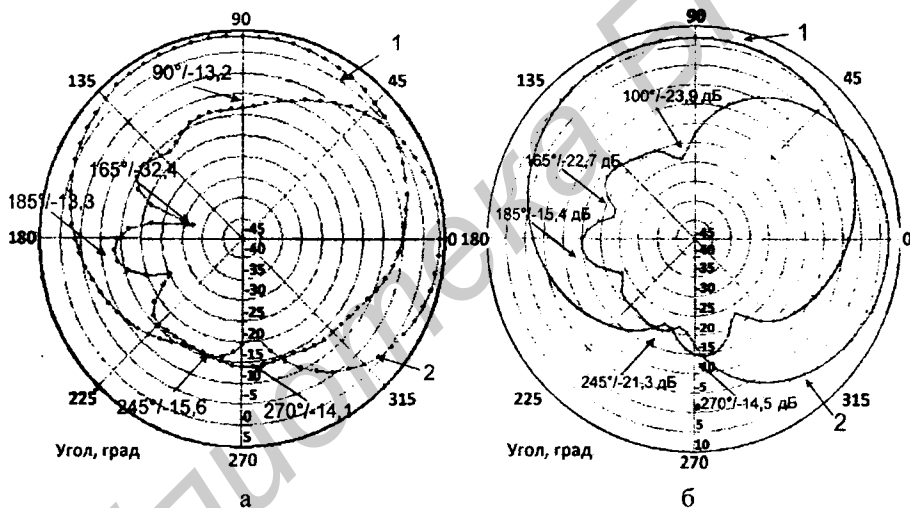
Введение между биологическим объектом и источником излучения (сотовым телефоном) водосодержащего экрана ЭМИ (размерами  $120 \times 60$  мм) позволяет получить коэффициент передачи меньше на  $2-6$  дБ по сравнению с металлическим экраном, при одновременном снижении коэффициента отражения до  $-12$  дБ, что в случае дифракции ЭМВ уменьшает уровень радиоизлучения, воздействующего на биологический объект, до  $12$  раз по мощности по сравнению с металлическим экраном.

Для повышения эффективности (уменьшения коэффициента передачи) водосодержащего экрана и снижения коэффициента отражения металлического экрана предложена конструкция многослойного экрана, выполненного на основе двухслойного водосодержащего экрана ЭМИ, разделенного слоем металла.

Установлено, что использование многослойной конструкции экрана позволяет получить коэффициент передачи до  $-79$  дБ при уменьшении

коэффициента отражения до -10 дБ. При этом диаграммы направленности источника радиоизлучения в горизонтальной плоскости и вертикальной плоскости изменяется в пределах 5 дБ (рисунок 5), что снижает воздействие радиоизлучения источника на биологический объект.

Показано, что взаимодействие радиоизлучения ПК в диапазоне частот 320–900 МГц с биологическим объектом ( $\epsilon = 43,2$ ,  $\sigma = 1,29$ ) характеризуется поглощением ЭМВ в его биологических тканях, что приводит к уменьшению уровня излучения от 38 до 46 дБ. Наибольшее поглощение радиоизлучения наблюдается на частотах 630–830 МГц. Установлено, что использование в качестве устройства защиты многослойной конструкции экрана на основе водосодержащих материалов размером 800 x 800 мм позволяет обеспечить снижение уровня радиоизлучения до 26 дБ при коэффициенте отражения -17 – -32 дБ.



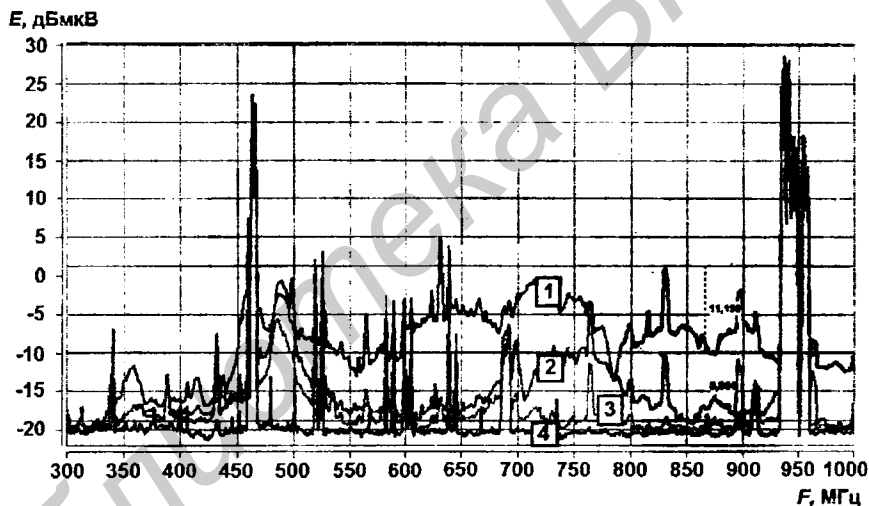
1 – горизонтальная плоскость; 2 – вертикальная плоскость  
а – вблизи биологического объекта; б – вблизи устройства защиты

**Рисунок 5 – Диаграмма направленности источника радиоизлучения (частота 1800 МГц)**

В четвертой главе на основании результатов, полученных в главе 3, предложены технологии изготовления конструкций экранов ЭМИ, основанные на закреплении водосодержащего наполнителя в волокнистых (вискоза) и полимерных материалах (сотовый поликарбонат) с последующей их герметизацией. Для повышения их эффективности экранирования разработана многослойная конструкция, состоящая из двух слоев водосодержащих

волокнистых материалов, между которыми закрепляется металлическая фольга и (или) гофрированное вискозное полотно, что позволяет снизить уровень радиоизлучения до 20 дБ в диапазоне частот от 20 МГц до 2,4 ГГц.

Для защиты человека от радиоизлучения системного блока ПК предложена конструкция контейнера, на стенах которого размещаются экраны ЭМИ. Для обеспечения доступа к органам управления системного блока передняя стенка может открываться за счет её перемещения по направляющим, а вентиляция обеспечивается через встроенную в заднюю стенку металлическую сетку с шагом не более 2 мм. Для снижения уровней радиоизлучения системного блока ПК предложено использовать панельные экранирующие перегородки, а для защиты от радиоизлучения видеодисплея – оптически прозрачный экран, что в совокупности позволяет снизить уровень радиоизлучения на рабочем месте пользователя до 20 дБ в диапазоне частот 300–1000 МГц (рисунок 6).



- 1 – электромагнитный фон при включенном ПК; 2 – металлический экран;
- 3 – многослойная конструкция экрана;
- 4 – электромагнитный фон при выключенном ПК

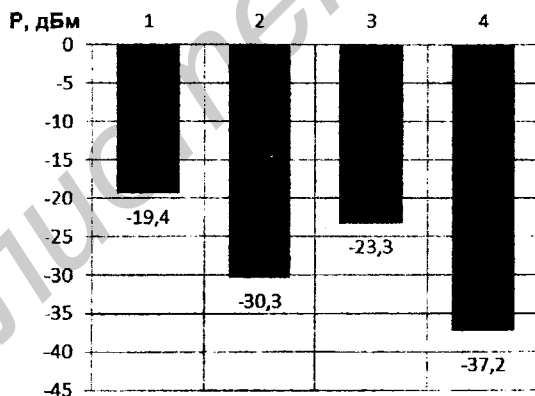
**Рисунок 6 – Спектральная характеристика радиоизлучения ПК**

Конструкция устройства защиты для снижения радиоизлучения видеодисплея может использоваться для ослабления ЭМВ СВЧ-печей (до 30 раз в диапазоне частот 1,33–5,43 ГГц). Для защиты пользователя от радиоизлучения портативного ПК типа ноутбук предложена конструкция

подставки, в которую вставляется многослойная конструкция экрана ЭМИ на основе водосодержащих волокнистых материалов, что позволяет обеспечить снижение уровня ЭМВ до 12 дБ (частота 840 МГц).

Разработана конструкция экрана ЭМИ (толщина 5 мм) для снижения уровня ЭМВ устройства обработки информации, входящего в состав медицинского монитора «Интеграл-12», обеспечивающая ослабление ЭМИ до 30 дБ в диапазоне частот 30–300 МГц и до 16 дБ в диапазоне 300–1000 МГц.

Предложена конструкция устройства защиты пользователя от радиоизлучения сотового телефона, представляющая собой многослойный экран на основе водосодержащих волокнистых материалов (толщина 5 мм, размеры 120 x 60 мм), размещаемого в чехле для ношения сотового телефона и обеспечивающего ослабление его ЭМВ до 17 дБ (60 раз на частоте 1800 МГц), распространяющегося в сторону пользователя. Установлено, что применение такого устройства защиты позволяет нормализовать электроэнцефалограмму головного мозга человека при воздействии на него радиоизлучения сотового телефона. Для снижения воздействия на человека радиоизлучения базовой станции сотовой связи, распространяющегося через оконные проемы внутрь помещения, предложено использовать оптически прозрачную конструкцию устройства защиты, обеспечивающую ослабление, вышеназванного излучения с -18,6 до -36,5 дБм на частоте 1800 МГц (рисунок 7).



- 1 – без применения устройства защиты;  
2 – металлический экран;  
3 – однослойный экран на основе волокнистых материалов;  
4 – многослойный экран на основе волокнистых материалов

Рисунок 7 – Уровни мощности сотового телефона

Для снижения уровня ЭМВ от генераторов электромагнитного шума (ГЭМШ) разработана конструкция устройства защиты, представляющая собой экран на основе водосодержащих волокнистых материалов (размером 470 x 470 мм), размещаемый вертикально между ГЭМШ и человеком, обеспечивающий ослабление ЭМВ до 15 дБ в диапазоне частот 300–1000 МГц. Разработана конструкция устройства защиты для снижения уровня ЭМИ радиоэлектронной аппаратуры, выполненная в виде жилета со вставками из многослойного экрана на основе волокнистых материалов.

В приложениях представлены акты о практическом использовании результатов диссертационной работы в области разработки широкодиапазонных поглотителей для снижения электромагнитного излучения системных блоков персональных компьютеров (CSBC spol.s g.o., Словакия) и в учебном процессе учреждения образования «Высший государственный колледж связи» (приложение А). В приложении Б представлены дипломы, полученные на международной специализированной выставке по телекоммуникациям, информационным и банковским технологиям ТИВО–2008, 2009 (г. Минск) за разработку новых технологий и материалов для защиты пользователей мобильных телефонов от электромагнитного излучения, а также грамота и диплом, полученные на международных конференциях «Медэлектроника–2008» (г. Минск), «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств–2008» (г. Новополоцк).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Предложена модель взаимодействия радиоизлучения с биологическим объектом (человеком) и устройством его защиты, позволяющая оценить воздействие радиоизлучения на биологический объект по рассчитанным параметрам коэффициентов отражения и передачи для системы биологический объект – устройство защиты – источник излучения. Расчет указанных параметров выполняется методом конечных разностей, позволяющим учесть особенности распространения ЭМВ на границах раздела воздушной среды, устройства защиты, а также биологического объекта при заданных их параметрах, что позволяет характеризовать влияние биологического объекта и устройства его защиты на диаграмму направленности источника радиоизлучения [2–А, 9–А, 16–А, 23–А].

2. Установлены особенности взаимодействия радиоизлучения (частота 1800 МГц) с биологическим объектом ( $\epsilon = 43,2$ ;  $\sigma = 1,29$ ). Увеличение расстояния от источника излучения до биологического объекта с 10 до 50 мм



приводит к увеличению коэффициента передачи с -53 до -60 дБ при одновременном увеличении коэффициента отражения с -35 до -12 дБ, что способствует снижению воздействия ЭМВ на биологический объект. Размещение устройства защиты, конструктивно представляющего собой водосодержащий экран ЭМИ размером 60 x 120 мм, два слоя которого разделены тонкослойным металлическим экраном, между источником излучения и биологическим объектом, снижает коэффициент передачи до -79 дБ при уменьшении коэффициента отражения до -10 дБ, что увеличивает диаграмму направленности источника радиоизлучения с -35 до -20 дБ (угол 165°, 200°) в вертикальной плоскости и с -23 до -8 дБ (угол 205°) в горизонтальной плоскости и позволяет снизить воздействие ЭМВ на биологический объект [1-А, 2-А, 7-А, 8-А].

3. Разработана методика экспресс-контроля уровня ЭМВ источника, основанная на регистрации радиоизлучения, накоплении результатов измерений и последующей их статистической обработке. Предложено выполнять усреднение результатов измерений, регистрируемых с момента включения источника излучения на протяжении 20 с, когда регистрируется максимальная мощность источника радиоизлучения, что позволяет получить значения уровня мощности излучения источника со случайной погрешностью до 0,6 дБм, абсолютной погрешностью до 1,2 дБ и систематической погрешностью до 1 дБм. Разработан аппаратно-программный комплекс, реализующий такие измерения мощности радиоизлучения сотового телефона стандарта GSM в полосе частот 800–2000 МГц [5-А, 15-А, 22-А, 24-А].

4. Обоснована многослойная конструкция экрана ЭМИ, представляющая собой два слоя водосодержащего волокнистого материала, разделенных слоем металла (алюминиевая фольга толщиной 30 мкм), позволяющая снизить мощность источника радиоизлучения до 17,8 дБ на частоте 1800 МГц. Показано, что использование металлических материалов в ней обеспечивает ослабление ЭМВ, а применение водосодержащего материала позволяет снизить результирующий коэффициент отражения до -7,8 дБ [3-А, 4-А, 6-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Предложены конструкции экранов электромагнитного излучения на основе водосодержащих волокнистых материалов. Применение многослойных конструкций позволяет получить коэффициент ослабления электромагнитной волны до -20 дБ при коэффициенте отражения 5–10 дБ в диапазоне частот 0,1–2 ГГц [5-А, 11-А, 19-А].

2. Разработан аппаратно-программный комплекс, позволяющий автоматизировать процессы регистрации уровней радиоизлучения и выполнять

оценку эффективности экранирования устройств защиты человека от воздействия радиоизлучений. Измерения проводятся с учетом окружающей электромагнитной обстановки [12–А, 13–А, 22–А].

3. Предложено использовать разработанные конструкции экранов электромагнитного излучения для защиты организма человека от радиоизлучения персональных компьютеров, сотовых телефонов, базовых станций сотовой связи, а также для защиты человека от воздействия электромагнитных волн медицинского монитора, генераторов электромагнитного шума, микроволновых печей, радиоэлектронной аппаратуры [3–А, 10–А, 14–А, 17–А, 18–А, 20–А, 21–А, 23–А, 25–А, 26–А, 27–А].

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Раздел в монографии**

1–А. Казека, А.А. Моделирование взаимодействия электромагнитных волн с телом человека и экранирующими материалами / А.А. Казека // Антропогенные источники электромагнитного излучения. Безопасность жизнедеятельности человека / Т.В. Борботько, Н.В. Колбун; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск, 2008. – Гл. 3. – С. 169–177.

### **Статьи в рецензируемых научных журналах**

2–А. Казека, А.А. Моделирование процесса распространения излучения сотового телефона через экранирующие материалы / А.А. Казека // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 9–14.

3–А. Казека, А.А. Защита от побочного электромагнитного излучения персонального компьютера / А.А. Казека, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. – 2008. – № 5. – С. 29–34.

4–А. Петров, С.Н. Экраны электромагнитного излучения на основе капиллярно-пористых материалов / С.Н. Петров, А.А. Казека, А.С. Фархат // Доклады БГУИР. – 2009. – № 2. – С. 34–38.

5–А. Казека, А.А. Электромагнитные свойства материалов для экранирования средств вычислительной техники / А.А. Казека, А.М. Прудник // Инженерный вестник. – 2010. – № 2(30). – С. 49–51.

6–А. Петров, С.Н. Конструкции оптически прозрачных экранов электромагнитного излучения для оконных проемов / С.Н. Петров, А.А. Казека, А.М. Прудник // Доклады БГУИР. – 2010. – № 8. – С. 78–83.

7–А. Казека, А.А. Конструирование средств защиты пользователя сотового телефона от электромагнитного излучения / А.А. Казека // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / ПГУ; редкол.: М.Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк, 2008. – Т. 1. – С. 90–93.

8–А. Казека, А.А. Моделирование процесса распространения излучения сотового телефона в неоднородных средах / А.А. Казека // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: сб. материалов по итогам работы МНПК. - техн. конф., Минск, 23–24 апр. 2008 г. / МГВРК; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. – Минск, 2008. – С. 54.

9–А. Kolbun, N.V. Simulation of electromagnetic radiation passing through liquid-containing nanostructured materials / N.V. Kolbun, T.V. Borbotko, A.A. Kazeka, A.M. Proudnik, L.M. Lynkou, // Proceedings of the SPIE. – 2008. – Vol. 7377. – P. 7377-09.

10–А. Kazeka, A. Absorbents of electromagnetic radiation for the personal computers / A. Kazeka, T. Borbotko // Electromagnetic disturbances EMD 2008: proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference, Vilnius, Lithuania, 25–26 Sept. 2008 / Vilnius Gediminas Technical University; ed.: R. Rinkeviciene [et al.]. – Vilnius, 2008. – P. 197–198.

11–А. Lynkov, L. The shields of the electromagnetic interference for the personal computers / L. Lynkov, T. Borbotko, A. Kazeka // Медэлектроника – 2008. : сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–12 дек. 2008 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2008. – С. 195–198.

12–А. Kazeka, A. Measurement of Shielding Effectiveness of the Computer Aids Radiation / A. Kazeka, T. Borbotko, A. Proudnik // Electromagnetic disturbances EMD 2009: proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference, Białystok, Poland, 23–25 Sept. 2009 / Białystok technical university; ed.: R. Rinkeviciene [et al.]. – Białystok, 2009. – P. 94–97.

13–А. Прудник, А.М. Метод оценки эффективности экранирования средств вычислительной техники / А.М. Прудник, А.А. Казека, Т.В. Борботко // Приборостроение – 2009: материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–13 нояб. 2009 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2009. – С. 235–236.

14–А. Казека, А.А. Экраны электромагнитного излучения для накопителей на жестких магнитных дисках / А.А. Казека // Управление информационными ресурсами: материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25 нояб. 2009 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: В.А. Богуш [и др.]. – Минск, 2009. – С. 184–186.

15–А. Казека, А.А. Устройство защиты от электромагнитного излучения пользователя сотового телефона / А.А. Казека, Т.В. Борботько // Сахаровские чтения 2010 года: экологические проблемы XXI века: материалы 10-й Междунар. науч. конф., Минск, 20–21 мая 2010 г. / МГЭУ им. Сахарова; редкол.: С.П. Кундае [и др.]. – Минск, 2010. – С. 113–114.

16–А. Казека, А.А. Снижение уровня электромагнитного излучения в средствах сотовой связи / А.А. Казека, Д.А. Кулинкович // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, Браслав, 13–17 сент. 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.К. Конопелько [и др.]. – Минск, 2010. – С. 20–21.

17–А. Казека, А.А. Конструирование экранов электромагнитного излучения для системного блока персонального компьютера / А.А. Казека, Д.А. Кулинкович // Современные средства связи: материалы XV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 сент. 2010 г. / БГУИР, ВГКС; редкол.: А.О. Зеневиц [и др.]. – Минск, 2010. – С. 143.

18–А. Сидоренко, А.В. Влияние излучений мобильного телефона на электроэнцефалограмму здоровых лиц при использовании защитных экранов / А.В. Сидоренко, Л.М. Лыньков, Г.И. Овсянкина, А.А. Казека, Ю.Л. Леончик // Медэлектроника – 2010: сб. науч. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 88.

19–А. Пулко, Т.А. Эффективность экранирования электромагнитного излучения сотового телефона водосодержащими экранирующими материалами / Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, А.А. Казека // Медэлектроника–2010.: сб. науч. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 351.

20–А. Пулко, Т.А. Способ снижения электромагнитного излучения системных блоков персональных компьютеров / Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, А.А. Казека // Медэлектроника – 2010.: сб. науч. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 350.

21–А. Лыньков, Л.М. Влияние водосодержащих экранирующих материалов на ослабление излучения генераторов электромагнитного шума / Л.М. Лыньков, А.А. Казека, Т.В. Борботько, О.В. Бойправ // Комплексная защита информации: материалы XVI науч.-практ. конф., Гродно, 17–20 мая 2011 г. / редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Гродно, 2011. – С. 181–184.

#### Тезисы докладов

22–А. Казека, А.А. Измерение мощности электромагнитного излучения сотовых телефонов / А.А. Казека, Т.В. Борботько // Технические средства

защиты информации: материалы VI Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск–Нарочь, 28 мая – 1 июня 2007 г. / БГУИР; редкол.: М.А. Баркуц [и др.]. – Минск, 2007. – С. 21–22.

23–А. Казека, А.А. Моделирование взаимодействия электромагнитной волны с экранирующими материалами / А.А. Казека // Технические средства защиты информации: материалы VII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / БГУИР; редкол.: А.П. Леонов [и др.]. – Минск, 2009. – С. 109–110.

24–А. Казека, А.А. Аппаратно-программный комплекс для оценки эффективности устройств защиты пользователя сотового телефона / А.А. Казека // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2010: материалы 6-й Междунар. молодежн. науч.-техн. конф., Севастополь, 19–24 апр. 2010 г. / СевНТУ; редкол.: Е.В. Пашков [и др.]. – Севастополь, 2010. – С. 278.

25–А. Казека, А.А. Экраны электромагнитного излучения для защиты персонала от излучения генераторов электромагнитного шума / А.А. Казека, М.В. Жалковский, Т.В. Борботько // Технические средства защиты информации: материалы VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.Ф. Голиков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 104.

### Патенты

26–А. Устройство защиты человека от электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи: пат. 6605 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01 Q 17/00 / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, А.А. Казека; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u 20100141; заявл. 10.02.15, опубл. 29.06.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5. – С. 253.

27–А. Устройство защиты человека от электромагнитного излучения радиоэлектронной аппаратуры: пат. 6911 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01 Q 17/00, А 41 Д 13/00 / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, А.А. Казека, В.Б. Соколов; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u 20100391; заявл. 10.04.21, опубл. 01.10.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 6. – С. 225.



Казека Аляксандр Анатольевіч

## Тэхнічныя сродкі абароны арганізма чалавека ад уздзеяння радыёвыпраменьванняў

**Ключавыя словы:** радыёвыпраменьванне, прылада абароны, біялагічны аб'ект, экраны электрамагнітнага выпраменьвання.

**Мэта працы:** распрацоўка прылад абароны арганізма чалавека ад уздзеяння радыёвыпраменьванняў (сотавы тэлефон, персанальны кампютар).

**Метады даследавання і апаратура:** мадэляванне распаўсюджвання радыёхваляў ў біятэхнічнай сістэме біялагічны аб'ект – прылада абароны – крыніца радыёвыпраменьвання выкананая з выкарыстаннем метаду канчатковых рознасцяў, рэалізаванага праграмным пакетам xFDTD. Даследаванне каэфіцыента перадачы і адлюстравання экрану электрамагнітнага выпраменьвання выконваліся з выкарыстаннем вымральных комплексу SNA 0,1–18. Даследаванне эфектыўнасці экранавання распрацаваных прылад абароны праводзілася з выкарыстаннем апаратна-праграмнага комплексу для кантролю ўзроўня радыёвыпраменьвання крыніц у паласе часціняў 20 – 2000 МГц.

**Атрыманая вынікі і іх навізна:** распрацавана мадэль распаўсюджвання радыёхваляў у біятэхнічнай сістэме біялагічны аб'ект – прылада абароны – крыніца радыёвыпраменьвання, якая дазволіла прапанаваць метадыкі ацэнкі эфектыўнасці прылад абароны і абгрунтаваць іх канструкцыі для персанальных кампютараў, сотавых тэлефонаў, базавых станцый сотавай сувязі, медыцынскага манітора, генератараў электрамагнітнага шуму, мікрахвалёвых печаў, радыёэлектроннай апаратуры.

**Ступень выкарыстання:** вынікі дысертацыйнай працы ўжытыя ў шырокадыяпазонных паглынальніках для зніжэння электрамагнітнага выпраменьвання сістэмных блокаў персанальных кампютараў (CSBC spol.s ro, Славакія) і ў вучэбным працесе ў А «Вышэйшы дзяржаўны каледж сувязі».

**Вобласць ўжывання:** абарона арганізма чалавека ад уздзеяння радыёвыпраменьвання.

## РЕЗЮМЕ

Казека Александр Анатольевич

### Технические средства защиты организма человека от воздействия радиоионлучений

**Ключевые слова:** радиоионлучение, устройство защиты, биологический объект, экраны электромагнитного излучения.

**Цель работы:** разработка устройств защиты организма человека от воздействия радиоионлучений (сотовый телефон, персональный компьютер).

**Методы исследования и оборудование:** моделирование распространения радиоволн в биотехнической системе биологический объект – устройство защиты – источник радиоионлучения выполнено с использованием метода конечных разностей, реализованного программным пакетом xFDTD. Исследование коэффициента передачи и отражения экранов электромагнитного излучения выполнялось с использованием измерительного комплекса SNA 0,1–18. Исследование эффективности экранирования разработанных устройств защиты проводилось с использованием аппаратно-программного комплекса для контроля уровня радиоионлучения источников в полосе частот 20–2000 МГц.

**Полученные результаты и их новизна:** разработана модель распространения радиоволн в биотехнической системе биологический объект – устройство защиты – источник радиоионлучения, позволившая предложить методики оценки эффективности устройств защиты и обосновать их конструкции для персональных компьютеров, сотовых телефонов, базовых станций сотовой связи, медицинских мониторов, генераторов электромагнитного шума, микроволновых печей, радиоэлектронной аппаратуры.

**Степень использования:** результаты исследований применены в широкодиапазонных поглотителях для снижения электромагнитного излучения системных блоков персональных компьютеров (CSBC spol.s r.o., Словакия) и в учебном процессе учреждения образования «Высший государственный колледж связи».

**Область применения:** защита организма человека от воздействия радиоионлучений.

## SUMMARY

**Kazeka Aliaxandr Anatolevich**

### **Technical means of protection from radio-frequency signals of the human body**

**Keywords:** radio-frequency emission, the protection device, a biological object, the shields of electromagnetic radiation.

**Aim of the work:** the development of protection devices of the human body from propagation of electromagnetic waves from cell phones and personal computers.

**Research methods and equipment:** modeling of radio propagation in biotechnical system, a biotechnical facility – protection device – a source of radio-frequency emission is performed using the finite difference method, with assistance of the software xFDTD. Investigation of the transmission coefficient and reflection of electromagnetic radiation shields were performed using a measuring complex SNA 0.1–18. The study of the effectiveness of shielding properties by the developed protection devices was carried out using hardware-software complex to control the level of radio-frequency emission sources in the frequency range 20–2000 MHz.

**The results obtained and their novelty:** A model of propagation in biotechnical system, a biotechnical facility – protection device – a source of radio-frequency emission, which allowed to propose methods of evaluating the effectiveness of protective devices and justify their design for personal computers, cellular phones, cellular base stations, medical monitors, generators of electromagnetic noise, microwave ovens, electronic equipment.

**Extent of usage:** Results of researches are applied for production of the wide-band absorbers for lowering of electromagnetic radiation of system units of personal computers (CSBC spol.s ro, Slovakia) and in study process at Higher state college of communication.

**Field of application:** protection of the human body from the radio-frequency emission.



*Научное издание*

**Казека Александр Анатольевич**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА  
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия  
медицинского назначения

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

---

Подписано в печать 13.01.2012.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ 47.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009  
220013, Минск, П. Бровка, 6