



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт медицины труда», г. Москва

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

О. В. Белая



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Обеспечение электромагнитной безопасности

Защита человека от неблагоприятного влияния ЭМП

Организационные мероприятия

Рациональное размещение рабочих мест
(Защита расстоянием)

Ограничение времени пребывания
(Защита временем)

Инженерно-технические методы и средства

Учет условий безопасности объектов при их проектировании и строительстве

Средства защиты
(коллективные и индивидуальные)

Лечебно-профилактические мероприятия

Предварительный при поступлении и периодические профилактические медосмотры

Гигиеническая оценка условий труда



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием

«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Средства индивидуальной защиты

- **Средства индивидуальной защиты (СИЗ)** – щитки, козырьки, экраны и пр. Основной интерес: СИЗ - индивидуальные экранирующие комплекты, предназначенные для исключения вредного воздействия излучения на организм персонала в ЭМП РЧ. Применяются как специальная рабочая одежда с необходимыми элементами индивидуальной защиты.
- На практике многие работы выполняются персоналом вблизи радиотехнического оборудования без прерывания нормального функционирования систем:
 - монтаж радиопередающих установок;
 - ремонтные и регламентные работы;
 - аварийные ситуации.
- **защита временем и защита расстоянием** осложняют (ограничивают) выполнение работ,
- **коллективные средства защиты** не функциональны



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск

Экранирующий комплект



- Элементы комплекта выполнены из электропроводящих материалов
- Элементы должны быть гальванически соединены между собой, образуя замкнутую экранированную оболочку вокруг тела человека
- Места соединения элементов должны быть снабжены специальными электропроводящими уплотнениями, что обеспечивает непрерывность экрана





Нормативные документы в обеспечении средств индивидуальной защиты от ЭМП РЧ



ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты»

СанПиН 2.2.4.1191-2003 «Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы»

ГОСТ Р 12.4.292-2013 ССБТ. «Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Общие технические требования»

Актуально:

Разработка нормативных документов, устанавливающие критерии и методы оценки защитных свойств (эффективности) СИЗ от ЭМП РЧ !



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Основная задача

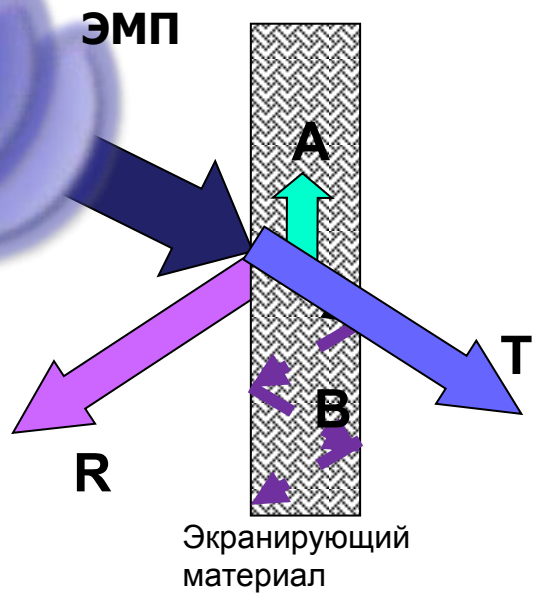
проанализировать применяемые методы оценки экранирующих свойств материалов и защитных комплектов от ЭМП РЧ для выявления принципов и методов, на основе которых возможна дальнейшая разработка стандартизированных методик испытаний защитных свойств СИЗ от ЭМП РЧ с учетом российского и международного опыта, и разработать комплекс методов, адекватных поставленной задаче



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Коэффициент экранирования ЭМП



- **Коэффициент экранирования (Кэ)** - основная характеристика эффективности экранирующих материалов и комплектов как средств защиты,
- определяет степень ослабления электромагнитной волны при прохождении через них за счет эффектов отражения (R), поглощения (A) и переотражения (B).
- для материалов сложной структуры таких, как металлизированные ткани для экранирующих комплектов, Кэ оценивается по результатам экспериментальных измерений и определяется по отношению (в дБ) уровней ЭМП РЧ без экранирующего материала (комплекта) и с ним.

Результаты оценки коэффициента экранирования зависят: от свойств экранирующего материала в рассматриваемом диапазоне частот, размеров (конструкции) испытуемого образца, типа испытательной установки и параметров источника ЭМП РЧ.

Задача испытания эффективности СИЗ от ЭМП РЧ включает два последовательных этапа: испытание экранирующих материалов и испытание готового изделия.



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Испытание экранирующих материалов

Международная практика оценки эффективности экранирования плоских материалов

В свободном пространстве

MIL-STD-285 Military Standard. Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes, Method of

IEEE-STD-299 IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures

В коаксиальной ячейке

ASTM D4935 Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials

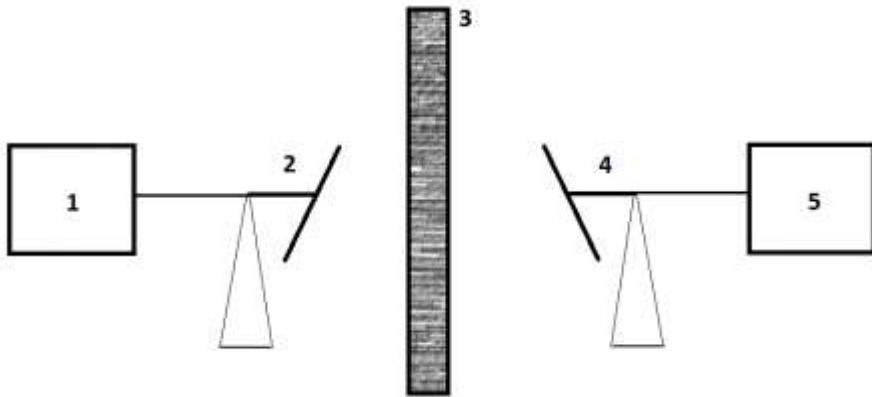


XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«**ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ**»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Оценка в свободном пространстве



- 1 – генератор ЭМП РЧ,
- 2 – излучающая антенна,
- 3 – тестируемый образец материала,
- 4 – принимающая антенна,
- 5 – измеритель уровней ЭМП РЧ.

Частотный диапазон	Тип антенны ЭМП РЧ	Измеряемый параметр	Формула расчета K_9	Обозначения
9 кГц – 20 МГц	Рамочная	Напряженность магнитной составляющей ЭМП H , А/м	$K_9 = 20 \lg \frac{H_1}{H_2}$	H_1, E_1, P_1 и H_2, E_2, P_2 - напряженность магнитного поля,
20 - 300 МГц	Биконическая	Напряженность электрической составляющей ЭМП E , В/м или мощность P , Вт	$K_9 = 20 \lg \frac{E_1}{E_2}$	электрического поля, мощность при отсутствии и при наличии материала соответственно
300 - 1 000 МГц	Полуволновой диполь		$K_9 = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$	
1 - 100 ГГц	Рупорная			



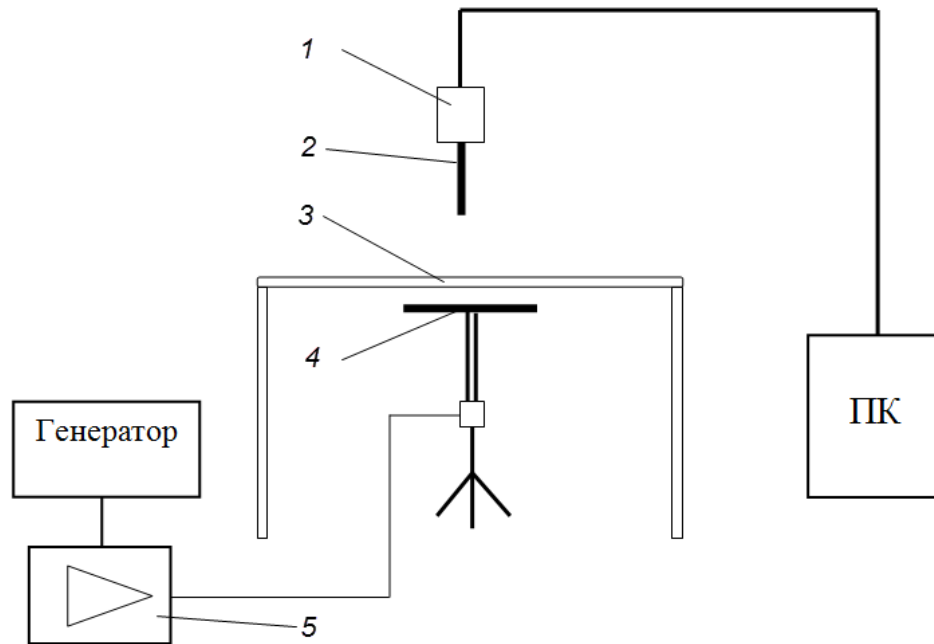
XIII Всероссийский Конгресс с международным участием

«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Схема испытательного стенда для оценки экранирующих материалов (предложенный метод)



- 1 - автоматизированная система трехмерного позиционирования измерительного зонда;
- 2 - измерительный зонд;
- 3 - плоский радиопрозрачный фантом;
- 4 - антенна (дипольная);
- 5 - усилитель.

Оценка пространственного распределения K_{Σ}

$$K_{Eij} = 20 \lg \frac{E_{\text{св } ij}}{E_{\text{экp } ij}}$$

$E_{\text{св } ij}$ - напряженность электрической составляющей ЭМП в узле сетки (i,j) без испытываемого образца, В/м;

$E_{\text{экp } ij}$ - напряженность электрической составляющей ЭМП в узле сетки (i,j) с испытываемым образцом, В/м.

$$K_{Hij} = 20 \lg \frac{H_{\text{св } ij}}{H_{\text{экp } ij}}$$

$H_{\text{св } ij}$ - напряженность магнитной составляющей ЭМП в узле сетки (i,j) без испытываемого образца, А/м;

$H_{\text{экp } ij}$ - напряженность магнитной составляющей ЭМП в узле сетки (i,j) с испытываемым образцом, А/м.



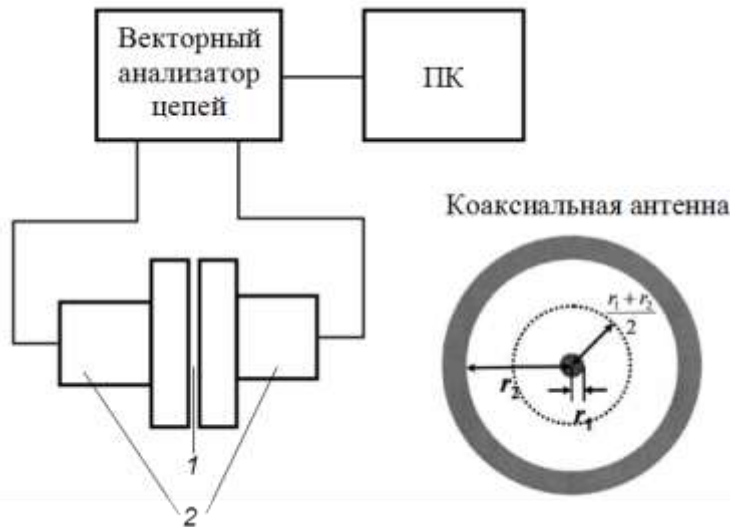
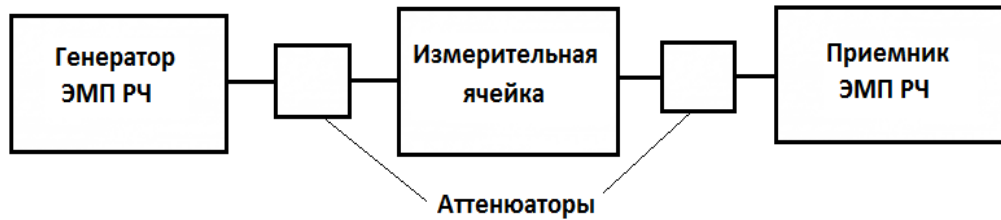
XIII Всероссийский Конгресс с международным участием

«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Оценка в коаксиальной ячейке



- 1 - область размещения образцов материалов;
- 2 - коаксиальные антенны измерительной ячейки

Расчетная формула

Обозначения

$$K_9 = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

P_1 – прошедшая мощность, Вт, при размещении опорного образца;
 P_2 - прошедшая мощность, Вт, при размещении тестового образца

$$K_9 = -10 \lg(|S_{12}^{опор}|^2) + 10 \lg(|S_{12}^{тест}|^2)$$

$S_{12}^{опор}$ коэффициент прохождения, измеренный с опорным образцом,
 $S_{12}^{тест}$ коэффициент прохождения, измеренный с тестовым образцом.



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Испытания экранирующих комплектов

Испытания защитных свойств экранирующих комплектов необходимы:

- для проверки соответствия предъявляемым к изделию требованиям,
- для оценки эффективности его конструкции с точки зрения обеспечения целостности и непрерывности экранирующей оболочки в местах соединения конструктивных элементов, швов, застежек и молний.

Международная практика испытания экранирующих комплектов от ЭМП РЧ

DIN 32780-100. Protective clothing - Part 100: Protection against electromagnetic fields in the frequency range from 80 MHz to 1 GHz, Requirements and test methods

В свободном пространстве

В тканеэквивалентном фантоме



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Оценка эффективности экранирования комплекта в свободном пространстве



Проведение испытаний:

- радиопрозрачный манекена тела человека, частично заполненного поглощающим материалом для исключения возможных резонансных полостей внутри экранирующего комплекта;
- измерительный зонд, с помощью которого проводятся измерения уровней напряженностей электрической и магнитной составляющей ЭМП;
- две точки измерений внутри полостей манекена: в области головы и груди.



Advances in Radio Science, 2005, N 3, pp.125–129.

Advances in Radio Science, 2005, N 3, pp.125–129.

Расчетная формула

$$K_{\text{Э}} = 10 \lg \frac{2}{\left(\frac{H_1}{H_2}\right)^2 + \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^2}$$

Обозначения

E_1 и E_2 – напряженности электрической составляющей ЭМП (В/м) внутри манекена с защитным комплектом и без защитного комплекта соответственно;

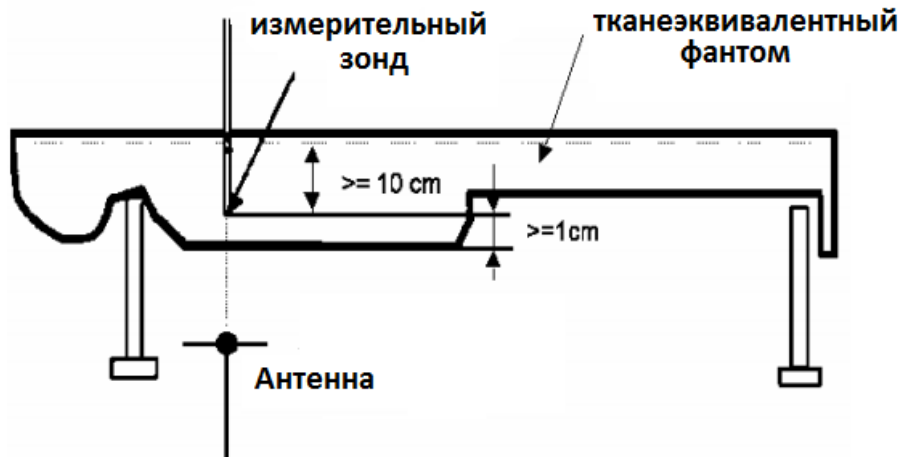
H_1 и H_2 – напряженности магнитной составляющей ЭМП (А/м) внутри манекена с защитным комплектом и без защитного комплекта



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
 17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Оценка эффективности экранирования комплекта в тканеэквивалентном фантоме



Advances in Radio Science, 2005, N 3, pp.125–129.

Проведение испытаний:

- **фантом тела человека**, заполненной тканеэквивалентной жидкостью
- источник ЭМП РЧ – дипольная антенна - устанавливается под фантомом
- **две точки измерений** внутри тканеэквивалентного фантома: в области головы и груди.
- измерения с помощью дозиметрического зонда и системы позиционирования зонда в пространстве
- расчет величины удельной поглощенной мощности (УПМ) по формуле:

$$УПМ = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2$$

где σ – удельная электрическая проводимость тканеэквивалентной жидкости, См/м;
 ρ – плотность тканеэквивалентной жидкости, кг/м³;
 E - напряженность электрической оставляющей ЭМП, В/м.

Расчетная формула

$$K_{\text{э}} = 10 \lg \frac{УПМ_1}{УПМ_2}$$

Обозначения

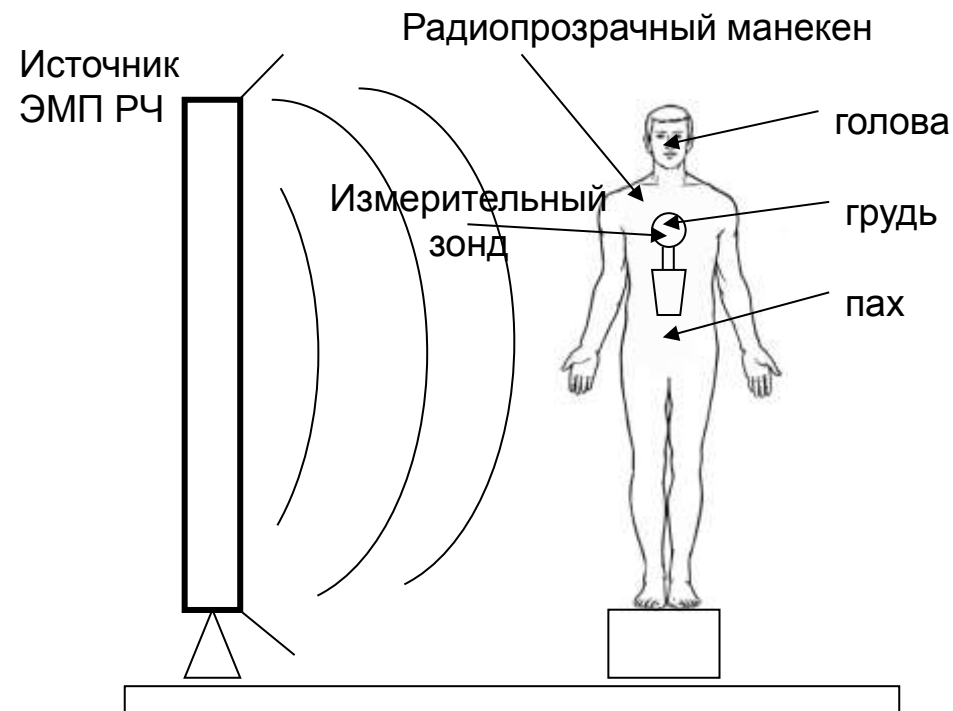
УПМ₁ и УПМ₂ - величина УПМ, полученная после испытаний без защитного комплекта и с защитным комплектом соответственно.



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
 17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Схема испытательного стенда для оценки экранирующих комплектов (предложенный метод)



- **Три точки измерений:** области головы, груди и паха - расположение наиболее критичных органов и конструктивных особенностей защитных комплектов.
- Испытания эффективности СИЗ от ЭМП РЧ проводятся как в лабораторных условиях, так и в условиях реальных рабочих мест на радиотехнических объектах

Частотный диапазон	Формула расчета K_3	Обозначения
10 кГц до 300 МГц	$K_3 = 20 \lg \frac{E_1}{E_2}$	E_1 , ППЭ ₁ и E_2 , ППЭ ₂ - напряженность электрического поля, плотность потока энергии при отсутствии и при наличии материала соответственно
300 МГц до 60 ГГц	$K_3 = 10 \lg \frac{ППЭ_1}{ППЭ_2}$	



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Проект ГОСТ

2015 г.: подготовлен **проект** Межгосударственного стандарта Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) ССБТ **Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Методы контроля.**

Область применения: методы контроля эффективности экранирования средств индивидуальной защиты (экранирующих комплектов), предназначенных для защиты работающих от воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона, и методы контроля эффективности экранирования материалов, используемых для изготовления подобных экранирующих комплектов.

➤ **Методы испытания материалов:**

- На плоском манекене с использованием автоматизированной системы позиционирования измерительных зондов в пространстве;
- В коаксиальной ячейке с помощью векторного анализатора цепей.

➤ **Методы испытания экранирующих комплектов (средств индивидуальной защиты):**

- В свободном пространстве (в трех областях),
- В тканеэквивалентном фантоме (в двух областях).



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Выводы

- Оценка эффективности СИЗ от ЭМП РЧ является комплексной задачей, включающей испытание экранирующих материалов и испытание готового изделия.
- Испытания экранирующих материалов можно проводить по двум различным методикам: в свободном пространстве и в коаксиальной ячейке. Применение автоматизированной системы трехмерного позиционирования измерительного зонда позволяет детально исследовать экранирующие свойства материалов и конструктивных элементов (швов) по пространственным распределениям коэффициента экранирования материала.
- Испытания экранирующих комплектов целесообразно проводить как по измерениям в свободном пространстве, так и в тканеэквивалентных фантомах. При этом коэффициент экранирования необходимо оценивать в нескольких областях.



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием

«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»

17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск



Спасибо за внимание!



XIII Всероссийский Конгресс с международным участием
«ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»
17 – 26 сентября 2015 года, г. Иркутск – г. Новосибирск