

Министерство обороны РФ
ВОЙСКОВАЯ ЧАСТЬ 70170

УТВЕРЖДАЮ

Командир войсковой части 70170
кандидат технических наук



В.А. Девочкин

2005 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНЕЗИАЛЬНО-ШУНГИТОВЫМ
МАТЕРИАЛОМ «АЛЬФАПОЛ ШТ-1»

Шифр работы «Защита - 8»

Зам. командира
по научной работе
доктор технических наук

В.П. Гаенко

Руководитель темы
кандидат технических наук

О.Г. Талаев

Санкт-Петербург 2005

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы
канд. техн. наук  О.Г. Талаев (введение, заключение)

Исполнитель темы:

Ст. научн. сотр.
канд. техн. наук  Н.Б. Сафронов (раздел 1-7, заключение)

РЕФЕРАТ

Отчет 51 с., ___ рис., ___ табл., ___ источников, ___ прил.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ, МАГНЕЗИАЛЬНО-ШУНГИТОВЫЙ МАТЕРИАЛ «АЛЬФАПОЛ ШТ-1»

Объектом исследований является магнезиально-шунгитовый материал «Альфапол ШТ-1», обладающий экранирующими свойствами от воздействия электромагнитных полей.

Цель работы – оценка эффективности экранирования электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения материалом «Альфапол ШТ-1».

В процессе работы разрабатывалась методика исследований и проводились экспериментальные исследования эффективности экранирования.

В результате исследований впервые оценена эффективность экранирования полей РПС в диапазоне 2-390 МГц составляющая до 26,2 дБ, эффективность экранирования полей РЛС в диапазоне 0,86-34,5 ГГц составляющая до 18,3 дБ, эффективность экранирования полей частотой 50 Гц высоковольтных линий электропередачи составляющая до 73 раз.

Выработаны рекомендации по направлениям применения экранирующего магнезиально-шунгитового материала «Альфапол ШТ-1» - защита объектов с протяженными и разветвленными техническими системами от внешних электромагнитных излучений и преднамеренных воздействий по эфиру; защита от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений; защита персонала и населения, работающего и проживающего в зоне радиопередающих средств и радиолокационных станций; защита населения, проживающего вблизи высоковольтных линий электропередачи; защита персонала военных объектов и испытательных лабораторий, работающего с источниками ЭМП радиочастотного и радиолокационного диапазонов.

Технико-экономическая эффективность внедрения результатов исследований определяется преимуществами применения экранирующего магнезиально-шунгитового материала «Альфапол ШТ-1» по сравнению с другими экранирующими материалами - простота применения, эффективность проектных решений, эффективность экранирования выделенных помещений, большие объемы экранирования, низкая стоимость материалов, эффективная поглощающая способность.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1 ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	
1.1 Анализ электромагнитных полей, воздействующих на аппаратуру объектов в процессе их эксплуатации	
1.2 Анализ электрофизических свойств магнезиально-шунгитового строительного материала	
1.3 Определение основных положений методики экспериментальных исследований по оценке эффективности экранирования.....	
1.4 Разработка модели объекта исследований.....	
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ.....	
2.1 Общие положения.....	
2.2 Методика экспериментальных исследований при воздействии ЭМП, создаваемых РПС	
2.3 Методика экспериментальных исследований при воздействии ЭМП, создаваемых РЛС.....	
2.4 Методика экспериментальных исследований при воздействии ЭМП, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи.....	
2.5 Методика экспериментальных исследований при воздействии импульсных ЭМП	
2.5.1 Методика проведения испытаний при воздействии электромагнитного импульса ЯВ.....	
2.5.2 Методика проведения испытаний при воздействии поля близкого удара молнии.....	
3 ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	
3.1 Объем исследований.....	
3.2 Средства испытаний.....	

3.3 Средства измерений.....	
4 ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ ЭКРАНА С ДЛИНОЙ РЕБРА 430 ММ.....	
4.1 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РПС.....	
4.1.1 Испытания в диапазоне частот 1,5...30 МГц.....	
4.1.2 Испытания в диапазоне частот 20,0- 52,0 МГц.....	
4.1.3 Испытания в диапазоне частот 100,0- 150,0 МГц.....	
4.1.4 Испытания в диапазоне частот 220,0- 390,0 МГц.....	
4.2 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РЛС.....	
4.2.1 Испытания на частоте 0,86 ГГц.....	
4.2.2 Испытания на частоте 2,45 ГГц.....	
4.2.3 Испытания на частоте 10 ГГц.....	
4.2.4 Испытания на частоте 34,5 ГГц.....	
4.3 Оценка эффективности экранирования ЭМП промышленной частоты 50 Гц, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи.....	
5 ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ ЭКРАНА С ДЛИНОЙ РЕБРА 1500 ММ.....	
5.1 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РПС.....	
5.1.1 Испытания в диапазоне частот 1,5...30 МГц.....	
5.1.2 Испытания в диапазоне частот 20,0- 52,0 МГц.....	
5.1.3 Испытания в диапазоне частот 100,0- 150,0 МГц.....	
5.1.4 Испытания в диапазоне частот 220,0- 390,0 МГц.....	
5.2 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РЛС.....	
5.2.1 Испытания на частоте 0,86 ГГц.....	
5.2.2 Испытания на частоте 2,45 ГГц.....	
5.2.3 Испытания на частоте 10 ГГц.....	
6 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ.....	
6.1 Анализ результатов исследований эффективности экранирования полей РПС.....	

6.2 Анализ результатов исследований эффективности экранирования полей РЛС.....	
6.3 Анализ результатов исследований эффективности экранирования ЭМП промышленной частоты 50 Гц, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи.....	
7 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МАГНЕЗИАЛЬНО-ШУНГИТОВОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	
Список использованных источников.....	

Приложение. Программа и методика испытаний по оценке эффективности экранирования электромагнитных полей магнезиально-шунгитовым материалом «Альфапол ШТ-1». МО РФ. Войсковая часть 70170. Санкт-Петербург, 2005.

Нормативные ссылки

В настоящем отчете о НИР использованы ссылки на следующие стандарты.

1. ГОСТ 30373-95/ ГОСТ Р 50414-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний.
2. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств.
3. ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний.
4. ГОСТ РВ 20.39.308-98. КСОТГ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к воздействию электромагнитных полей и токов источников естественного и искусственного происхождения. МО РФ. М., 1998.
5. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

Обозначения и сокращения

В настоящем отчете о НИР применяют следующие обозначения и сокращения.

ИП – измерительный преобразователь;

КС ЖД - контактная сеть железных дорог;

МШСМ - магнезиально-шунгитовый строительный материал;

ПЭМИ - побочные электромагнитные излучения;

ПОС – полеобразующая система;

РПС - радиопередающие и средства;

РЛС – радиолокационные средства;

ЛЭП - линия электропередачи;

ЭМИ – электромагнитное излучение;

ЭМП - электромагнитное поле;

ЭО – электрооборудование.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений электромагнитной защиты объектов является защита технических средств объекта от внешних электромагнитных воздействий по эфиру и защита от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ). Основным методом защиты является экранирование помещений, в которых расположены технические средства объекта.

При решении задачи локального экранирования отдельных помещений объекта применяют экранированные кабины и укрытия, изготовленные из металла или металлизированных тканей. Однако, с учетом внешних электромагнитных воздействий по эфиру для протяженных и разветвленных технических систем, разнесенных по всему объему объекту, эта задача становится практически не выполнимой при решении ее традиционными методами и средствами.

Перспективным средством экранирования помещений является применение новых отечественных магнезиально-шунгитовых строительных материалов, обладающих экранирующими свойствами /1-3/.

Разработанные компанией «Альфа-Пол» современные магнезиально-шунгитовые строительные материалы (патент России на изобретение № 2233255 от 27.07.2004) обладают новыми электрофизическими характеристиками и могут использоваться для создания экранированных камер и помещений, специальных фортификационных сооружений, а также для защиты персонала и населения от электромагнитных полей технических средств.

Целью настоящей НИР является разработка методики и оценка эффективности экранирования магнезиально-шунгитовым строительным материалом «Альфа-пол ШТ-1» при воздействии реальных (соответствующих условиям эксплуатации объектов) электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых техническими средствами и моделирующими установками ЭМП.

Экспериментальные исследования выполнены на экспериментально-испытательной базе Испытательного центра войсковой части 70170 в составе

испытательной базы войсковых частей 70170 и 99795, аттестат аккредитации в системе ГОСТ Р № РОСС RU. 0001.21АЯ15, аттестат аккредитации в системе ОИТ (Минатома России) № РОСС RU.0001.01АЭ00.78.21.0001.

Основанием для выполнения НИР является договор № 69-05МФ/15 от 30.06.2005 г. шифр «Защита- 8».

ТЗ на НИР выполнено полностью.

1 ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ электромагнитных полей, воздействующих на аппаратуру объектов в процессе их эксплуатации

В процессе эксплуатации объектов на установленную аппаратуру могут воздействовать ЭМП естественного и искусственного происхождения.

К ЭМП естественного происхождения относятся электростатические (ЭСР) и молниевые разряды. К ЭМП искусственного (техногенного) происхождения относятся поля, возникающие в результате работы электро и радиооборудования:

- поля радиопередающих и радиолокационных средств (РПС и РЛС);
- электромагнитные поля силового электрооборудования (ЭО);
- электромагнитные поля линий электропередачи (ЛЭП) и контактной сети железных дорог (КС ЖД).

Для военных объектов также рассматриваются электромагнитный импульс ядерного взрыва и целенаправленные (преднамеренные) ЭМП.

Кроме того, аппаратура, устанавливаемая на объектах, должна отвечать требованиям электромагнитной совместимости.

Таким образом, в зависимости от назначения аппаратуры – в гражданских или военных целях, к ней предъявляется комплекс требований по стойкости и электромагнитной совместимости.

В ряде случаев основным методом защиты аппаратуры от ЭМП является экранирование помещений объектов, на которых эта аппаратура установлена. При этом под защитой аппаратуры понимается как сохранение ее работоспособности, так и обеспечение защиты информации, обрабатываемой на объекте.

Защите подлежит также обслуживающий персонал объекта, работающий в местах с уровнями ЭМП, превышающими предельно допустимые уровни.

1.2 Анализ электрофизических свойств магнезиально-шунгитового строительного материала

Составы с шунгитовым наполнителем, обладая повышенной электропроводностью, способны экранировать электромагнитные излучения (ЭМИ). Единственное в мире разведанное крупное месторождение шунгитовых пород находится в Карелии. Шунгиты (от названия села Шуньга) это докембрийские горные породы, насыщенные углеродным (шунгитовым) веществом в некристаллическом состоянии.

На основании исследований, выполненных в предыдущие годы, были созданы электропроводящие кирпичи, засыпки, кладочные растворы, панели. Однако, ввиду возникших сложностей с обеспечением герметичности экрана в местах стыковки материалов и вставок (дверей, фильтров и др.), проекты с шунгитовыми строительными материалами были отложены.

Компанией «Альфапол» разработаны магнезиально-шунгитовые строительные материалы «Альфапол АК», обладающие радиоэкранирующими свойствами. Исследования Института геологии Карельского научного центра по измерению объемного электрического сопротивления материала показали, что магнезиально-шунгитовые составы «Альфапол АК» обеспечивают снижение сопротивления существенно ниже 107 Ом-м (до 103 Ом-м). Материалы удовлетворяют требованиям ГОСТ 12.4.124-83, предъявляемым к средствам защиты от статического электричества.

Способность экранировать ЭМИ определяется высокой электропроводностью составов с шунгитовым наполнителем. Как экранирующие материалы составы работают на поглощение энергии. В таблице 1.1 представлены значения коэффициента экранирования ЭМИ частотой 460 МГц различными строительными материалами фирмы «Альфапол» (толщина слоя 15 мм).

Таблица 1.1 - Значения коэффициента экранирования ЭМИ частотой 460 МГц различными строительными материалами фирмы «Альфапол»

Наименование образца	Назначение материала	Значение коэффициента экранирования (раз)
Магнезиально-шунгитовая бетонная смесь Альфапол АБШ	Покрытие для пола	27,9 - 34,1
Магнезиально-шунгитовая штукатурная смесь Альфапол ШТ-1	Штукатурная смесь	26,5 - 28,5
Гипсо-шунгитовая штукатурная смесь Альфапол ШТ-2	Штукатурная смесь	1,0 - 1,2
Магнезиальная штукатурная смесь Альфапол ШТ-200	Штукатурная смесь	2,0 - 2,2
Гипсовая растворная смесь Альфапол С-Универсал	Стяжка для пола	1,3 - 1,7

Как следует из таблицы, высокий коэффициент экранирования ЭМИ имеют только магнезиально-шунгитовые составы. Эффективность экранирования зависит от толщины слоя материала. Коэффициент экранирования имеет выраженную частотную зависимость: с увеличением частоты значения коэффициента возрастают. По данным предварительных исследований, при заданной толщине образца при увеличении частоты ЭМП с 40 до 460 МГц значения коэффициента экранирования увеличились с 2,2 до 28,5 раз.

Разработанные ООО «Альфа-Пол» магнезиально-шунгитовые строительные материалы (штукатурки для внутреннего и наружного применения, напольные покрытия) являются, несомненно, шагом вперед и могут использоваться для создания экранированных камер и помещений, специальных фортификационных сооружений, а также для защиты персонала и населения от электромагнитных полей технических средств. Компанией получен Патент на изобретение (№ 22233255). Предварительными исследованиями в 4-х независимых аккредитованных лабораториях установлено, что экраны на основе магнезиально-шунгитового строительного материала (МШСМ) (штукатурка «Альфапол ШТ-1» и

напольное покрытие «Альфапол АБШ») толщиной в 15 мм обеспечивают снижение уровней ЭМИ до 30 дБ. Эффект экранирования имеет частотную зависимость и возрастает увеличением толщины слоя.

Разработанные компанией магнезиально-шунгитовые строительные смеси обладают рядом преимуществ по сравнению с другими радиоэкранирующими материалами, а именно.

1. МШСМ обладают высокой адгезией к металлу, кирпичу, бетону, дереву и отдельным видам пластмасс. Это позволяет прогнозировать возможность достижения требуемой эффективности экранирования при создании экранированных камер различного класса в соответствии с ГОСТ Р 50414-92, а также и экранированных помещений и сооружений иного назначения.

2. МШСМ являются немагнитными материалами. Поэтому в отличие от стальных материалов не искажают геомагнитное поле Земли, что обеспечивает естественную геомагнитную обстановку на рабочих местах персонала экранированных помещений. Исследованиями установлено, что работа в условиях сниженного естественного магнитного поля приводит к нарушениям со стороны центральной нервной системы (снижение работоспособности, памяти, внимания), иммунитета, сердечно-сосудистой системы. Поэтому Санитарными правилами и нормами (СанПиН 2.2.4.1191-03) установлен временный допустимый коэффициент ослабления геомагнитного поля на рабочих местах персонала, равный 2.

3. Магнезиально-шунгитовые радиоэкранирующие материалы являются значительно менее проводящими материалами по сравнению с металлами. Поэтому они исключают возможность возникновения значительных напряженностей электромагнитного поля на собственных резонансных частотах экранированного помещения. Это позволяет эксплуатировать помещения без радиопоглощающих покрытий.

4. С помощью магнезиально-шунгитовых радиоэкранирующих материалов можно создавать экранирующие поверхности больших размеров. Совмещение в

одном сооружении конструкционных и экранирующих свойств значительно снижает сроки ввода таких экранированных помещений в эксплуатацию.

5. МШСМ обладают родонозащитными свойствами. Это особенно актуально при создании заглубленных сооружений.

6. В отличие от ферритовых, ферритодиэлектрических, гибких тканевых и полимерных радиопоглощающих покрытий, экраны из магнезиально-шунгитовых материалов являются пожароустойчивыми, надежными и долговечными, что упрощает их эксплуатацию. Составы имеют ряд других положительных свойств, таких как беспыльность, маслобензостойкость, морозоустойчивость.

Разработанные композиции удовлетворяют основным гигиеническим требованиям: не выделяют опасных газов и запахов, соответствуют первому классу по радиационной безопасности (НРБ- 99). На материалы получено санитарно-эпидемиологическое заключение. Они рекомендованы к применению в жилых и общественных зданиях, в производственных помещениях со значительной интенсивностью механических воздействий, в пищевых, фармацевтических, медицинских, детских учреждениях.

Как следует из анализа электрофизических свойств магнезиально-шунгитового строительного материала, он обладает целым рядом характеристик, выгодно отличающим его от других радиоэкранирующих материалов. Вместе с тем, имеющиеся данные об экранирующих свойствах этого материала в широком диапазоне частот ограничены, что является предметом дальнейших исследований.

1.3 Определение основных положений методики экспериментальных исследований по оценке эффективности экранирования

В целом, оценка эффективности экранирования с учетом реальных условий является достаточно сложной задачей. Для предварительной оценки можно воспользоваться приближенными выражениями. В этом случае, эффективность экранирования можно представить суммой соответствующих составляющих /4/:

$$Q = Q_{\text{погл}} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{вн.отр}},$$

где $Q_{\text{погл}}$ - эффективность экранирования за счет поглощения энергии экраном;

$Q_{\text{отр}}$ - эффективность экранирования за счет отражения волны экраном;

$Q_{\text{вн.отр}}$ - эффективность экранирования за счет многократного внутреннего переотражения волны от поверхностей экрана.

Для определения составляющих экранирования применяются специальные методики экспериментальных исследований, которые в рамках настоящих исследований не рассматриваются.

В соответствии с ГОСТ Р 50414-92 (ГОСТ 30373-95/ ГОСТ Р 50414-92) применяют методику оценки эффективности экранирования Q помещения на основе экспериментальных исследований методом сравнения.

Эффективность экранирования определяют:

в диапазоне частот до 300 МГц – по соотношению напряженности излучаемого антенной (1) и проникающего (2) электрического (E_1 и E_2) и магнитного (H_1 и H_2) полей;

в диапазоне частот от 300 МГц до 35,5 ГГц по соотношению мощности (P_1 и P_2) излучаемого антенной (1) и проникающего (2) электромагнитного поля.

Размерность Q выражают в разгах и в дБ относительно 1 мкВ/м, 1 мкА/м и 1 пВт.

Значение эффективности экранирования (Q) в децибелах вычисляют по формулам:

$$Q = 20 \lg (H_1/H_2) \text{ для магнитного поля;}$$

$$Q = 20 \lg (E_1/E_2) \text{ для электрического поля;}$$

$$Q = 10 \lg (P_1/P_2) \text{ для электромагнитного поля.}$$

Данный метод применим для исследования эффективности экранирования моделей экранов, и был положен в основу методики исследований.

Для повышения достоверности исследований нормы испытаний моделей экранов определяются исходя из создания и моделирования крайне жесткой

электромагнитной обстановки (в соответствии с ГОСТ Р 51317.2.5-2000 и ГОСТ РВ 20.39.308-98). Это позволяет учесть факторы, связанные с высокоэнергетическим уровнем воздействия электромагнитных полей.

Моделирование крайне жесткой электромагнитной обстановки возможно в условиях действующих технических средств или моделирующих установок электромагнитных полей.

1.4 Разработка модели объекта исследований

Разработка модели объекта исследований в соответствии с выбранной выше методикой определяется в значительной мере характеристиками технических средств и моделирующих установок электромагнитных полей, с помощью которых возможно создание крайне жесткой электромагнитной обстановки.

В качестве технических средств и моделирующих установок электромагнитных полей для проведения исследований выбраны установки экспериментально-испытательной базы Испытательного центра войсковой части 70170. Установки позволяют воспроизводить и моделировать электромагнитные поля в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.308-98 и отвечают требованиям по проведению испытаний аппаратуры и объектов на стойкость и электромагнитную совместимость при максимальной степени жесткости испытаний.

Состав и технические характеристики установок приведены в таблице 1.2. Анализ технических характеристик установок позволяет определить требования к размерам модели объекта исследований исходя из размеров полеобразующих систем (ПОС) установок. При этом для соблюдения условия неоднородности поля в ПОС, соответствующее значению не более 20%, соотношение размеров модели объекта и ПОС должно составлять 1 : 3. Данное требование было положено в основу разработки модели объекта исследований.

Таблица 1.2 - Технические характеристики моделирующих установок электромагнитных полей

№ п/п	Наименование	Технические характеристики
1.	Стационарный имитатор ЭМП РЛС «Бриз-1»	$R_{\text{имп}} = 360 \text{ кВт}$, $\lambda = 3,7 \text{ см}$ (СВЧ), $f = 8...10 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S_{\text{обл}} = (0,6 \times 2,0) \text{ м}^2$ на удалении 3,0 м от среза рупора. ППЭ $\geq 235 \text{ Вт/м}^2$
2.	Передвижной имитатор ЭМП РЛС «Бриз-2»	$R_{\text{имп}} = 33 \text{ кВт}$, $\lambda = 0,8 \text{ см}$ (КВЧ), $f = 34,5...35,5 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S_{\text{обл}} = (0,3 \times 0,3) \text{ м}^2$ на удалении 1,5 м от среза рупора. ППЭ $\geq 200 \text{ Вт/м}^2$
3.	Стационарный имитатор ЭМП РЛС «Бриз-3»	$R_{\text{имп}} = 650 \text{ Вт}$, $\lambda = 12,2 \text{ см}$ (СВЧ), $f = 2,45 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S_{\text{обл}} = (0,7 \times 0,7) \text{ м}^2$ на удалении 2,0 м от среза рупора. ППЭ $\geq 1000 \text{ Вт/м}^2$
4.	Передвижной имитатор ЭМП РЛС «Бриз-4»	$R_{\text{имп}} = 210 \text{ кВт}$, $\lambda = 35...45 \text{ см}$ (УВЧ), $f = 0,66...0,86 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S_{\text{обл}} = (0,75 \times 1,0) \text{ м}^2$ на удалении 1,5 м от среза рупора. ППЭ $\geq 200 \text{ Вт/м}^2$
5.	Имитатора ЭМП РПС «Волна-КВ»	$f = 1,5 - 30 \text{ МГц}$, $\lambda = 200 - 10 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 4 \text{ кВт}$, $R_{\text{потр}} = 38 \text{ 500...1500 В/м}$. ПОС – ВПЛ с габаритами: $12 \times (0,75...2) \times 1,5 \text{ м}$.
6.	Имитатор ЭМП РПС «Волна-УКВ»	$f = 100 - 150 \text{ МГц}$, $\lambda = 3 - 2 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 0,25 \text{ кВт}$, $R_{\text{потр}} = 5 \text{ 100 В/м}$. ПОС – ЛПА с габаритами: $3,6 \times 2,0 \times 1,0 \text{ м}$.
7.	Имитатор ЭМП РПС «Волна-УКВ1»	$f = 20-52 \text{ МГц}$, $\lambda = 15 - 5 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 80 \text{ Вт}$, $R_{\text{потр}} = 5 \text{ кВт}$, $E_{\text{м}} \geq 100 \text{ В/м}$. ПОС – ЛПА с габаритами: $3,6 \times 2,0 \times 1,0 \text{ м}$.
8.	Имитатор ЭМП РПС «Волна-УКВ2»	$f = 220-330 \text{ МГц}$, $\lambda = 1,36 - 0,77 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 40 \text{ Вт}$, $R_{\text{потр}} = 5 \text{ кВт}$, $E_{\text{м}} \geq 100 \text{ В/м}$. ПОС – ЛПА с габаритами: $3,6 \times 2,0 \times 1,0 \text{ м}$.
9.	Имитатор ЭМИ ЯВ ИМ-3 - «Ладога»	Параметры ЭМИ высотного ЯВ: $E_{\text{max}} \geq 200 \text{ кВ/м}$, $E_{\text{min}} \leq 45 \text{ кВ/м}$; $H_{\text{max}} \geq 600 \text{ А/м}$, $H_{\text{min}} \leq 135 \text{ А/м}$; $t_{\Phi} \geq 10 \text{ нс}$, $t_{\text{И}(0,5)} \leq 500 \text{ нс}$.
10.	Имитатор «Гроза»	Параметры ЭМП близкого удара молнии: $E_{\text{max}} \geq 120 \text{ кВ/м}$, $E_{\text{min}} \leq 30 \text{ кВ/м}$; $H_{\text{max}} \geq 430 \text{ А/м}$, $H_{\text{min}} \leq 40 \text{ А/м}$; $t_{\Phi} \leq 0,4 \text{ мкс}$, $t_{\text{И}(0,5)} = 50 \text{ мкс}$. Параметры тока прямого удара молнии: $I_{\text{min}} \geq 50 \text{ кА}$, $I_{\text{max}} \leq 80 \text{ кА}$; $t_{\Phi} \geq 0,8 \text{ мкс}$, $t_{\text{И}(0,5)} \geq 2,5 \text{ мкс}$.
11.	Имитатор «Линия»	$H_{\text{мпр}} = 5... 80 \text{ А/м}$, $H_{\text{мпол}} = 5... 55 \text{ А/м}$, $E_{\text{м}} = 1...25 \text{ кВ/м}$. ПЛ с размерами: $10,3 \times 2,8 \times 2 \text{ м}$.
12.	Имитатор «Вирта»	Продольное МП промышленной частоты 50 и 400 Гц с $H_{\text{мпр}} = 50...400 \text{ А/м}$ ПОС - соленоид с размерами $L=16 \text{ м}$, $\varnothing=4 \text{ м}$.

Объектом исследований выбраны две модели экранов в форме куба из магнезиально-шунгитовых строительных материалов (МШСМ) «Альфапол ШТ-1», ТУ 5745-004-56234968-2004.

Первая модель с длиной ребра 430 мм выполнена из фанеры толщиной 10 мм и покрыта изнутри МШСМ «Альфапол ШТ-1» толщиной 15 мм. Вес модели - $30 \pm 0,5$ кг.

Вторая модель с длиной ребра 1500 мм выполнена из фанеры толщиной 10 мм и покрыта изнутри МШСМ «Альфапол ШТ-1» толщиной 15 мм. Вес модели - $350 \pm 0,5$ кг. Модель собирается на месте испытаний с обеспечением электрогерметичности стыков.

Обе модели экранов имеют одну съемную стенку для установки внутрь измерительных преобразователей (ИП) электромагнитного поля. Для вывода кабеля, соединяющего ИП с регистратором, в боковой стенке моделей экранов выполнено отверстие диаметром 30 мм.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

2.1 Общие положения

Для испытаний по оценке эффективности экранирования применяется метод сравнения по ГОСТ Р 50414-92, заключающийся в сравнении двух последовательных измерений электромагнитного поля – без экрана и ослабленное экраном.

Перед началом работ оценивается электромагнитная обстановка, при которой достигается требуемая достоверность испытаний. В соответствии с ГОСТ Р 50414-92 минимальный сигнал должен превышать уровень шумов измерительного преобразователя на 10 дБ.

При проведении испытаний на открытой испытательной площадке последняя должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 51317.4.3-99 (Приложение Д). При этом для уменьшения отражения от земной поверхности на испытательной площадке применяют радиопоглощающий материал.

Неравномерность облучения (при измерениях в отсутствии объекта испытаний) не должна быть более 20%. За значение уровня излучения, воздействующего на объект испытаний, принимают максимальное его значение на внешней поверхности образца.

Погрешность определения расстояния при установке антенн не должна превышать 5% .

Максимальные значения воздействующего ЭМП, излучаемых антеннами моделирующих установок, определяются по результатам измерений поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Обработка результатов измерений проводится в соответствии с ГОСТ Р 50414-92 (п.3.12).

Испытания проводятся в 2 этапа:

1. Измерение ЭМП в точке размещения моделей экранов в испытательном объеме моделирующих установок.

2. Размещение моделей экранов в испытательном объеме моделирующих установок и измерение ЭМП внутри моделей экранов при воздействии электромагнитных полей, создаваемых моделирующими установками.

На первом этапе измеряется электромагнитное поле и определяется расстояние от излучателя, на котором реализуется заданный уровень воздействующего излучения.

На втором этапе объект испытаний размещается на тележке с резиновыми колесами и помещается в зону воздействия ЭМП. Измерение уровней напряженности ЭМП внутри объекта испытаний производится в его центре.

Испытания проводятся последовательно - при незаземленной и заземленной модели экрана.

2.2 Методика экспериментальных исследований при воздействии ЭМП, создаваемых РПС

Испытания проводятся не менее чем на пяти контрольных частотах каждого рабочего диапазона средств излучения (средств испытаний). Для каждой частоты проводятся не менее трех измерений.

Испытания проводятся при воздействии ЭМП для следующих контрольных частот и при следующих значениях напряженности электрического поля:

- 1) в диапазоне частот от 1,5 до 30 МГц:
 - контрольные частоты – 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 30,0 МГц;
 - напряженность электрического поля – до 1500 В/м;
- 2) в диапазоне частот от 20 до 52 МГц:
 - контрольные частоты – 20,0; 25,0; 30,0; 40,0; 52,0; 52,0 МГц;
 - напряженность электрического поля – до 1000 В/м;

- 3) в диапазоне частот от 100 до 150 МГц:
 - контрольные частоты – 100,0; 125,0; 130; 140; 150,0 МГц;
 - напряженность электрического поля – до 100 В/м;
- 4) в диапазоне частот от 220 до 330 МГц:
 - контрольные частоты – 220,0; 250,0; 280; 300,0; 330,0 МГц;
 - напряженность электрического поля – до 100 В/м.

Контрольные частоты выбираются с учетом требований ГОСТ Р 50414-92.

Время облучения объекта испытаний на каждой контрольной частоте должно быть не менее 1 мин.

Из числа контрольных частот исключается резонансная частота. Резонансная частота определяется экспериментальным методом по ГОСТ Р 50414-92. При этом ориентировочное значение низшей резонансной частоты ($f_{рез}$) в герцах рассчитывается по формуле (ГОСТ Р 50414-92):

$$f_{рез} = \frac{1,5 \cdot 10^8}{h} \sqrt{1 + (h/l)^2},$$

где h – высота модели экрана, м;

l – длина модели экрана, м.

Рассчитанное ориентировочное значение низшей резонансной частоты составляет:

для модели экрана с ребром 0,43 м - ~ 500 МГц;

для модели экрана с ребром 1,5 м - ~ 150 МГц.

2.3 Методика экспериментальных исследований при воздействии ЭМП, создаваемых РЛС

Испытания проводятся при воздействии ЭМП для следующих контрольных частот и при следующих значениях мощности электромагнитного поля:

- на частоте 0,7 ГГц - мощность электромагнитного поля – до 200 Вт/м²;

- на частоте 2,45 ГГц - мощность электромагнитного поля – до 1000 Вт/м²;
- на частоте 10 ГГц - мощность электромагнитного поля – до 200 Вт/ м²;
- на частоте 35 ГГц - мощность электромагнитного поля – до 200 Вт/м².

Уровень мощности облучения определяется с учетом максимальной чувствительности применяемого измерителя поля.

Время облучения объекта испытаний на каждой контрольной частоте должно быть не менее 5 мин.

2.4 Методика экспериментальных исследований при воздействии ЭМП, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи

Испытания проводятся при воздействии электромагнитного поля с параметрами:

- напряженность электрической составляющей – до 25 кВ/м;
- напряженность магнитной составляющей – до 80 А/м.

Время облучения объекта испытаний должно быть не менее 1 мин.

2.5 Методика экспериментальных исследований при воздействии импульсных ЭМП

2.5.1 Методика проведения испытаний при воздействии электромагнитного импульса ЯВ

Испытания проводятся при воздействии электромагнитного импульса с параметрами:

- напряженность электрической составляющей – до 200 кВ/м;
- напряженность магнитной составляющей – до 600 А/м;
- длительность фронта импульса - 10 нс;
- длительность импульса (на уровне 0,5) - 500 нс.

При заданных параметрах электромагнитного импульса проводят не менее трех измерений.

2.5.2 Методика проведения испытаний при воздействии поля близкого удара молнии

Испытания проводятся при воздействии импульсного электромагнитного поля с параметрами:

- напряженность электрической составляющей – до 120 кВ/м;
- напряженность магнитной составляющей – до 430 А/м;
- длительность фронта импульса – 0,4 мкс;
- длительность импульса (на уровне 0,5) - 50 мкс.

При заданных параметрах электромагнитного импульса проводят не менее трех измерений.

Испытания проводятся при имитации разряда молнии на минимальном расстоянии от объекта испытаний, исключающем прямой удар молнии в объект.

3 ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Объем исследований

В соответствии с программой работ на первом этапе исследований проводились испытания моделей экранов на воздействие ЭМП, создаваемых РПС и РЛС, и полей высоковольтных линий электропередачи. Объем испытаний был ограничен исследованиями незаземленных моделей экранов ввиду технической не проработанности вопроса.

3.2 Средства испытаний

При проведении испытаний применялись имитаторы ЭМП, приведенные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Средства испытаний

№ п/п	Наименование	Технические и метрологические характеристики	Аттестат, дата	Дата очередной проверки
1.	Стационарный имитатор ЭМП РЛС «Бриз-1»	$P_{\text{ИМП}} = 360 \text{ кВт}$, $\lambda = 3,7 \text{ см}$ (СВЧ), $f = 8...10 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S \text{ обл} = (0,6 \times 2,0) \text{ м}^2$ на удалении $3,0 \text{ м}$ от среза рупора. ППЭ $\geq 235 \text{ Вт/м}^2$	Протокол от 02.06.05 Измеритель ПЗ-40, № 16	В стадии оформления аттестата во ВНИИ ОФИ
2.	Передвижной имитатор ЭМП РЛС «Бриз-2»	$P_{\text{ИМП}} = 33 \text{ кВт}$, $\lambda = 0,8 \text{ см}$ (КВЧ), $f = 34,5...35,5 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S \text{ обл} = (0,3 \times 0,3) \text{ м}^2$ на удалении $1,5 \text{ м}$ от среза рупора. ППЭ $\geq 200 \text{ Вт/м}^2$	Протокол от 02.06.05 Измеритель ПЗ-40, № 16	В стадии оформления аттестата во ВНИИ ОФИ
3.	Стационарный имитатор ЭМП РЛС «Бриз-3»	$P_{\text{ИМП}} = 650 \text{ Вт}$, $\lambda = 12,2 \text{ см}$ (СВЧ), $f = 2,45 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S \text{ обл} = (0,7 \times 0,7) \text{ м}^2$ на удалении $2,0 \text{ м}$ от среза рупора. ППЭ $\geq 1000 \text{ Вт/м}^2$	И009/2004 от 03.11.04 г.	До 02.11.2006 г

4.	Передвижной имитатор ЭМП РЛС «Бриз-4»	$P_{\text{ИМП}} = 210 \text{ кВт}$, $\lambda = 35...45 \text{ см}$ (УВЧ), $f = 0,66...0,86 \text{ ГГц}$. Безэховая камера: $4 \times 4 \times 5 \text{ м}$, $S_{\text{обл}} = (0,75 \times 1,0) \text{ м}^2$ на удалении $1,5 \text{ м}$ от среза рупора. ППЭ $\geq 200 \text{ Вт/м}^2$	Протокол от 02.06.05 Измеритель ПЗ-40, № 16	В стадии оформления аттестата во внии ОФИ
5.	Имитатора ЭМП РПС «Волна-КВ»	$F = 1,5 - 30 \text{ МГц}$, $\lambda = 200 - 10 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 4 \text{ кВт}$, $R_{\text{потр}} = 38 \text{ кВт}$, $E_m = 500...1500 \text{ В/м}$. ПОС – ВПЛ с габаритами: $12 \times (0,75 \times 1,0) \text{ м}$	И013/2004 от 03.11.04 г.	До 02.11.06 г.
6.	Имитатор ЭМП РПС «Волна-УКВ»	$F = 100 - 150 \text{ МГц}$, $\lambda = 3 - 2 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 0,25 \text{ кВт}$, $R_{\text{потр}} = 5 \text{ кВт}$, $E_m \geq 100 \text{ В/м}$. ПОС – ЛПА с габаритами: $3,6 \times 2,0 \times 1,0 \text{ м}$.	И014/2004 от 03.11.04 г.	До 02.11.06 г.
7.	Имитатор ЭМП РПС «Волна-УКВ1»	$F = 20-52 \text{ МГц}$, $\lambda = 15 - 5 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 80 \text{ Вт}$, $R_{\text{потр}} = 5 \text{ кВт}$, $E_m \geq 100 \text{ В/м}$. ПОС – ЛПА с габаритами: $3,6 \times 2,0 \times 1,0 \text{ м}$.	Протокол от 02.06.05 Измеритель ИП-ЕКВ2 № 01	В стадии оформления аттестата во внии ОФИ
8.	Имитатор ЭМП РПС «Волна-УКВ2»	$F = 220-330 \text{ МГц}$, $\lambda = 1,36 - 0,77 \text{ м}$, $R_{\text{изл}} = 40 \text{ Вт}$, $R_{\text{потр}} = 5 \text{ кВт}$, $E_m \geq 100 \text{ В/м}$. ПОС – ЛПА с габаритами: $3,6 \times 2,0 \times 1,0 \text{ м}$.	Протокол от 02.06.05 Измеритель ИП-ЕУКВ № 01	В стадии оформления аттестата во внии ОФИ
9.	Имитатор «Линия»	$H_{\text{нпр}} = 5... 80 \text{ А/м}$, $H_{\text{нпоп}} = 5... 55 \text{ А/м}$, $E_m = 1...25 \text{ кВ/м}$. ПЛ с размерами: $10,3 \times 2,8 \times 2 \text{ м}$.	И011/2004 03.11.04 г.	До 02.11.06 г.

3.3 Средства измерений

При проведении измерений ЭМП, моделируемых имитаторами, и ЭМП внутри моделей экранов применялись средства измерений, приведенные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Средства измерений

№ п/п	Наименование	Технические и метрологические характеристики	Аттестат, дата	Дата очередной поверки
	Измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004	Частотный диапазон измерений $0,3 - 40,0 \text{ ГГц}$ Диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - $0,26 - 100000 \text{ мкВт/см}^2$	1889/2400	26.07.2006 г
	Измеритель плотности потока энергии ПЗ-19 Зав. № 04344	Частотный диапазон измерений $0,3 - 39,65 \text{ ГГц}$ Диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ – $0,32 - 10000 \text{ мкВт/см}^2$	1888/2400	26.07.2006 г

Измеритель плотности потока энергии ПЗ-40 Зав. № 016	Частотный диапазон измерений 0,3 – 40,0 ГГц Диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ – 0,26 – 100000 мкВт/см ² Амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 100,0-500,0 В/м	1529/2400	19.05.2006г
Измеритель напряженности переменного электрического поля ИП-ЕКВ1 № 01	Частотный диапазон измерений 1,5 –45,0 МГц Доверительная граница относит. погрешности измерения среднеквадратического значения напряженности переменного электрического поля 12% Амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 50,0-500,0 В/м	2864/2004-Э	02.11.2005 г
Измеритель напряженности переменного электрического поля ИП-ЕКВ2 № 01	Частотный диапазон измерений 15 –60,0 МГц Доверительная граница относит. погрешности измерения среднеквадратического значения напряженности переменного электрического поля 10% Амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 10,0-100,0 В/м	2865/2004-Э	02.11.05 г
Измеритель напряженности переменного электрического поля ИП-ЕУКВ № 01	Частотный диапазон измерений 1,5 –400,0 МГц Доверительная граница относит. погрешности измерения среднеквадратического значения напряженности переменного электрического поля 10%	2866/2004-Э	02.11.2005 г
Измеритель напряженности гармонического электрического поля ИП-ЕГ № 01	Частотный диапазон измерений 50±1 Гц Амплитудный диапазон измерений 1-50 кВ/м Доверительная граница относит. погрешности измерения среднеквадратического значения напряженности гармонического электрического поля 5%	2876/2004-Э	02.11.2005 г

	<p>Измеритель напряженности гармонического магнитного поля ИП-НГ № 01</p>	<p>Частотный диапазон измерений 50±1 Гц Амплитудный диапазон измерений 5-200 А/м Доверительная граница относит. погрешности измерения среднеквадратического значения напряженности гармонического магнитного поля 5%</p>	<p>2875/2004-Э</p>	<p>02.11.2005 г</p>
--	---	--	--------------------	---------------------

3.4 ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ ЭКРАНА С ДЛИНОЙ РЕБРА 430 ММ

4.1 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РПС

4.1.1 Испытания в диапазоне частот 1,5...30 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна - КВ» (радиостанция Р 631-2Б). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕКВ1 № 01 (амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 100,0-500,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась полосковая линия.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась параллельно полосковой линии на расстоянии от антенны до стенки модели равном 0,5 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 2, 6, 10, 30 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 - Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 1,5-30 МГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - КВ»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E 1	внутри модели экрана, E 2	разы	дБ
2,0	488,0	24,0	20,3	26,2
6,0	593,0	97,0	6,1	15,7
10,0	888,0	160,0	5,6	15,0
30,0	262,0	100,0	2,6	8,3

4.1.2 Испытания в диапазоне частот 20,0- 52,0 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна-УКВ 1» (Радиостанция Р 111). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕКВ2 № 01 (амплитудный диапазон

измерений напряженности электрического поля 50,0-500,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась логопериодическая антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась параллельно основной оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 0,4 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 25, 30, 40, 50 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 20-52 МГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - УКВ 1»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E_1	внутри модели экрана, E_2	разы	дБ
25,0	250,0	89,0	8,7	18,8
30,0	250,0	47,0	5,3	14,5
40,0	125,0	43,0	2,9	9,7
50,0	60,0	22,0	2,7	8,6

4.1.3 Испытания в диапазоне частот 100,0- 150,0 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна - УКВ» (Радиостанция Р 613). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕУКВ2 № 01 (амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 10,0-100,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась логопериодическая антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась параллельно основной оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 1,0 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 100, 120, 125, 130, 140, 150,0 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 -Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 100-150 МГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - УКВ »	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E_1	внутри модели экрана, E_2	разы	дБ
100,0	87,0	31,0	2,8	8,9
120,0	41,0	3,0	13,7	22,7
125,0	86,0	24,0	3,6	11,1
130,0	73,0	18,5	3,9	11,8
140,0	55,0	21,0	2,6	8,3
150,0	15,0	7,0	2,1	6,4

4.1.4 Испытания в диапазоне частот 220,0- 390,0 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна – УКВ 2» (Радиостанция Р625). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕУКВ № 01 (амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 10,0-100,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась зигзагообразная антенна с плоской решеткой (размером 0,9 x 0,7).

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по основной оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 1,0 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 220, 250, 300, 350, 390 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 -Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 220-390 МГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - УКВ 2»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E_1	внутри модели экрана, E_2	разы	дБ
220,0	54,8	7,6	7,2	17,1
250,0	27,0	6,3	4,3	12,7
300,0	45,6	6,6	6,9	16,8
350,0	98,8	17,4	5,6	15,0
390,0	103,6	26,7	3,9	11,8

4.2 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РЛС

4.2.5 Испытания на частоте 0,86 ГГц

Испытания проводились на стационарном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -4». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 11 метрам. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 0,86 ГГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -4»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
0,86	24,7	11,9	2,1	3,2

4.2.6 Испытания на частоте 2,45 ГГц

Испытания проводились на стационарном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -3». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 8,0 метров. Антенна

измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 2,45 ГГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -3»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
2,45	97,5	16,4	6,10	8,0

4.2.7 Испытания на частоте 10 ГГц

Испытания проводились на стационарном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -1». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 11 метрам. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 10 ГГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -1»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
10,0	34,3	0,5	64,7	18,1

4.2.8 Испытания на частоте 34,5 ГГц

Испытания проводились на передвижном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -2». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 8,5 метров. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 34,5 ГГц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -2»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
34,5	67,8	0,0	>67,8	>18,3

4.3 Оценка эффективности экранирования ЭМП промышленной частоты 50 Гц, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи

Испытания проводились на имитаторе электромагнитных полей промышленной частоты 50 Гц, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи, «Вирта». Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности гармонического электрического поля ИП-ЕГ № 01 (амплитудный диапазон измерений 1-50 кВ/м) и измерителем напряженности гармонического магнитного поля ИП-НГ № 01 (амплитудный диапазон измерений 5-200 А/м).

В качестве полеобразующей система использовалась полосковая линия для создания электрического поля и соленоид для создания магнитного поля.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась в центре полеобразующей системы. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частоте 50 Гц.

Результаты измерений приведены в таблицах 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9 - Результаты измерений напряженности электрической составляющей поля частотой 50 Гц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Частота (Гц) имитатора «Вирта»	Значения напряженности электрической составляющей (кВ/м)		Эффективность экранирования разы	Примечание
	без модели, <i>E 1</i>	внутри модели экрана, <i>E 2</i>		
50,0	21,9	0,3	73	Закрытый экран
	21,4	1,4	15,3	Без задней крышки

Таблица 4.10 - Результаты измерений напряженности магнитной составляющей поля частотой 50 Гц в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Частота (Гц) имитатора «Вирта»	Значения напряженности электрической составляющей (А/м)		Эффективность экранирования разы
	без модели, <i>H 1</i>	внутри модели экрана, <i>H 2</i>	
50,0	55,0	52,0	1,1

3.5 ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ ЭКРАНА С ДЛИНОЙ РЕБРА 1500 ММ

5.2 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РПС

5.1.1 Испытания в диапазоне частот 1,5...30 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна - КВ» (радиостанция Р 631-2Б). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕКВ1 № 01 (амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 100,0-500,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась полосковая линия.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась параллельно полосковой линии на расстоянии от антенны до стенки модели равном 0,1 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 2, 6, 10, 30 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 1,5-30 МГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - КВ»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E_1	внутри модели экрана, E_2	разы	дБ
2,0	310,0	165,0	1,8	5,1
6,0	400,0	350,0	1,1	0,8
10,0	590,0	495,0	1,2	1,6
30,0	165,0	120,0	1,4	2,9

5.1.2 Испытания в диапазоне частот 20-52 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна-УКВ 1» (Радиостанция Р 111). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕКВ2 № 01 (амплитудный диапазон

измерений напряженности электрического поля 50,0-500,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась логопериодическая антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась параллельно основной оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 0,7 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась внутри модели экрана с закрытой крышкой на расстоянии 0,3 м от стенки, обращенной к антенне. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и внутри модели на частотах 25, 30, 40, 50 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 20-52 МГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - УКВ 1»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, Е 1	внутри модели экрана, Е 2	разы	дБ
25,0	114,0	49,0	2,3	7,2
30,0	115,0	41,0	2,8	8,9
40,0	71,0	42,0	1,7	4,6
50,0	40,0	37,0	1,1	0,8

5.1.3 Испытания в диапазоне частот 100-150 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна - УКВ» (Радиостанция Р 613). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕУКВ2 № 01 (амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 10,0-100,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась логопериодическая антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась параллельно основной оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 1,0 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с

закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 100, 120, 125, 130, 140, 150,0 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 -Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 100-150 МГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - УКВ»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E_1	внутри модели экрана, E_2	разы	дБ
100,0	72,0	47,0	1,5	3,5
120,0	38,0	25,0	1,5	3,5
125,0	67,0	48,0	1,4	2,9
130,0	80,0	50,0	1,6	4,1
140,0	63,0	73,0	-	-
150,0	24,0	12,0	2,3	7,2

5.1.4 Испытания в диапазоне частот 220,0- 390,0 МГц

Испытания проводились на имитаторе ЭМП РПС «Волна – УКВ 2» (Радиостанция Р625). Измерения ЭМП проводилось измерителем напряженности переменного электрического поля ИП-ЕУКВ № 01 (амплитудный диапазон измерений напряженности электрического поля 10,0-100,0 В/м) с волоконно-оптической линией связи с регистратором.

В качестве излучающей антенны использовалась зигзагообразная антенна с плоской решеткой (размером 0,9 x 0,7).

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по основной оси излучения антенны на расстоянии от антенны до центра модели равном 0,9 метра. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой на высоте от земли 1,35 м. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели на частотах 220, 250, 270, 290, 300, 330, 350, 370 МГц.

Результаты измерений приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 -Результаты измерений напряженности ЭМП в диапазоне 220-390 МГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (МГц) имитатора ЭМП РПС «Волна - УКВ 2»	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E 1	внутри модели экрана, E 2	разы	дБ
220,0	37,0	16,0	2,3	7,2
250,0	30,0	16,0	1,8	5,1
270,0	55,0	20,0	2,8	8,9
290,0	62,0	35,0	1,8	5,1
300,0	52,0	24,0	2,2	6,8
330,0	85,0	42,0	2,0	6,0
350,0	100,0	46,0	2,2	6,8
370,0	100,0	40,0	2,5	8,0

5.3 Оценка эффективности экранирования ЭМП, создаваемых РЛС

5.2.4 Испытания на частоте 0,86 ГГц

Испытания проводились на стационарном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -4». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 10 метрам. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 0,86 ГГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -4»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
0,86	28,0	6,8	4,1	6,0

5.2.5 Испытания на частоте 2,45 ГГц

Испытания проводились на стационарном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -3». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 8,5 метров. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 2,45 ГГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -3»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
2,45	519,3	85,5	6,1	8,0

5.2.6 Испытания на частоте 10 ГГц

Испытания проводились на стационарном имитаторе электромагнитных полей радиолокационной станции «Бриз -1». Измерения ЭМП проводилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 № 004 (амплитудный диапазон измерений плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ - 0,26 - 100000 мкВт/см²).

В качестве излучающей антенны использовалась рупорная антенна.

Схема испытаний. Модель экрана размещалась по оси излучения антенны на расстоянии от антенны до стенки модели равном 8,5 метрам. Антенна измерительного прибора устанавливалась в центре модели экрана с закрытой

крышкой. Измерения в установленной точке проводились без модели экрана и в центре модели.

Результаты измерений приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 - Результаты измерений плотности потока энергии на частоте 10 ГГц в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (ГГц) стационарного имитатора РЛС «Бриз -1»	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
10,0	315,0	8,0	39,4	15,9

8 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

6.4 Анализ результатов исследований эффективности экранирования полей РПС

Обобщенные результаты исследований эффективности экранирования полей РПС приведены в таблицах 6.1 и 6.2. Анализ результатов показывает, что эффективность экранирования в диапазоне 2-390 МГц модели экрана с длиной ребра 430 мм составляет от 6,4 до 26,2 дБ, модели экрана с длиной ребра 1500 мм – от 0,8 до 8,9 дБ. Различие в эффективности экранирования вероятнее всего связано с существенно меньшей герметичностью большей модели экрана. Имеющиеся технологические щели и не плотности экрана в исследованных диапазонах частот делают его малоэффективным. Это подтверждается результатами исследований экранов в диапазоне СВЧ излучения.

Таблица 6.1 - Коэффициенты ослабления ЭМП РПС в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (МГц)	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, E 1	внутри модели экрана, E 2	разы	дБ
2,0	488,0	24,0	20,3	26,2
6,0	593,0	97,0	6,1	15,7
10,0	888,0	160,0	5,6	15,0
30,0	262,0	100,0	2,6	8,3
25,0	250,0	89,0	8,7	18,8
30,0	250,0	47,0	5,3	14,5
40,0	125,0	43,0	2,9	9,7
50,0	60,0	22,0	2,7	8,6
120,0	41,0	3,0	13,7	22,7
125,0	86,0	24,0	3,6	11,1
130,0	73,0	18,5	3,9	11,8
140,0	55,0	21,0	2,6	8,3
150,0	15,0	7,0	2,1	6,4
220,0	54,8	7,6	7,2	17,1
250,0	27,0	6,3	4,3	12,7
300,0	45,6	6,6	6,9	16,8
350,0	98,8	17,4	5,6	15,0
390,0	103,6	26,7	3,9	11,8

Таблица 6.2 - Коэффициенты ослабления ЭМП РПС в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (МГц)	Значения напряженности ЭМП (В/м)		Эффективность экранирования	
	без модели, <i>E</i> 1	внутри модели экрана, <i>E</i> 2	разы	дБ
2,0	310,0	165,0	1,8	5,1
6,0	400,0	350,0	1,1	0,8
10,0	590,0	495,0	1,2	1,6
30,0	165,0	120,0	1,4	2,9
25,0	114,0	49,0	2,3	7,2
30,0	115,0	41,0	2,8	8,9
40,0	71,0	42,0	1,7	4,6
50,0	40,0	37,0	1,1	0,8
100,0	72,0	47,0	1,5	3,5
120,0	38,0	25,0	1,5	3,5
125,0	67,0	48,0	1,4	2,9
130,0	80,0	50,0	1,6	4,1
140,0	63,0	73,0	-	-
150,0	24,0	12,0	2,3	7,2
220,0	37,0	16,0	2,3	7,2
250,0	30,0	16,0	1,8	5,1
270,0	55,0	20,0	2,8	8,9
290,0	62,0	35,0	1,8	5,1
300,0	52,0	24,0	2,2	6,8
330,0	85,0	42,0	2,0	6,0
350,0	100,0	46,0	2,2	6,8
370,0	100,0	40,0	2,5	8,0

6.5 Анализ результатов исследований эффективности экранирования полей РЛС

Обобщенные результаты исследований эффективности экранирования полей РЛС приведены в таблицах 6.3 и 6.4. Анализ результатов показывает, что эффективность экранирования в диапазоне 0,86-34,5 ГГц модели экрана с длиной ребра 430 мм составляет от 3,2 до 18,3 дБ, модели экрана с длиной ребра 1500 мм – от 6,0 до 15,9 дБ. Размеры модели экрана несущественно влияют на эффективность экранирования, что подтверждается достаточной сходимостью результатов испытаний начиная с частоты 2,45 ГГц. Кроме того, имеется явно выраженная тенденция роста эффективности экранирования при увеличении частоты ЭМП.

Таблица 6.3 - Коэффициенты ослабления ЭМП РЛС в модели экрана с длиной ребра 430 мм

Несущая частота (ГГц)	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
0,86	24,7	11,9	2,1	3,2
2,45	97,5	16,4	6,10	8,0
10,0	34,3	0,5	64,7	18,1
34,5	67,8	0,0	>67,8	>18,3

Таблица 6.4 - Коэффициенты ослабления ЭМП РЛС в модели экрана с длиной ребра 1500 мм

Несущая частота (ГГц)	Значения плотности потока энергии (мкВт/см ²)		Эффективность экранирования	
	без модели, ППЭ 1	внутри модели экрана - ППЭ 2	разы	дБ
0,86	28,0	6,8	4,1	6,0
2,45	519,3	85,5	6,1	8,0
10,0	315,0	8,0	39,4	15,9

6.6 Анализ результатов исследований эффективности экранирования ЭМП промышленной частоты 50 Гц, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи

Анализ результатов исследований, приведенных в разделе 4, показывает, что на частоте 50 Гц модель экрана с длиной ребра 430 мм имеет эффективность экранирования электрического поля 73 раза. При снятии крышки экрана, находящейся в плоскости, параллельной вектору поля, эффективность экранирования снижается примерно в 5 раз. Последний результат испытаний соответствует имитации экранирования помещения с открытым проемом (окном, дверью и т.д.).

Эффективность экранирования магнитного поля частотой 50 Гц практически равна 1, что вытекает из электрофизических характеристик материала.

9 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МАГНЕЗИАЛЬНО-ШУНГИТОВОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать следующие направления применения магнезиально-шунгитового строительного материала типа «Альфапол ШТ-1» в качестве экранирующего материала.

1. Защита технических средств объекта от внешних электромагнитных излучений и преднамеренных воздействий по эфиру. При этом задача может быть решена для объектов с протяженными и разветвленными техническими системами путем нанесения магнезиально-шунгитового строительного материала на внешние поверхности зданий и сооружений.

2. Защита от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений. Особо актуально эта задача может решаться для объектов в плотной городской застройке, где имеются естественные ограничения по границе контролируемой зоны.

3. Защита персонала и населения, работающего и проживающего в зоне радиопередающих средств и радиолокационных станций в условиях превышения действующих электромагнитных полей предельно допустимых уровней по санитарным нормам.

4. Защита населения, проживающего вблизи высоковольтных линий электропередачи, особенно в городах с плотной застройкой. При этом может быть решена задача производственной застройки зон непосредственно вблизи высоковольтных линий электропередачи за счет применения экранирующего магнезиально-шунгитового строительного материала.

5. Защита персонала военных объектов и испытательных лабораторий, работающего с источниками ЭМП радиочастотного и радиолокационного диапазонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения настоящей НИР получены следующие важные результаты и выводы.

1. Разработана методика исследований эффективности экранирования электромагнитных полей магнезиально-шунгитовым материалом «Альфапол ШТ-1». В основу методики положен метод сравнения воздействующего и проникающего электромагнитных полей при испытании модели экрана из магнезиально-шунгитового материала.

2. Для исследования эффективности экранирования магнезиально-шунгитовым материалом «Альфапол ШТ-1» разработаны модели экранов в виде куба с ребром 430 и 1500 мм и толщиной материала 15мм.

3. Оценена эффективность экранирования полей РПС. В диапазоне 2-390 МГц эффективность экранирования модели экрана с длиной ребра 430 мм составляет от 6,4 до 26,2 дБ, модели экрана с длиной ребра 1500 мм – от 0,8 до 8,9 дБ. Различие в эффективности экранирования вероятнее всего связано с существенно меньшей герметичностью большей модели экрана.

4. Оценена эффективность экранирования полей РЛС. В диапазоне 0,86-34,5 ГГц эффективность экранирования модели экрана с длиной ребра 430 мм составляет от 3,2 до 18,3 дБ, модели экрана с длиной ребра 1500 мм – от 6,0 до 15,9 дБ. Размеры модели экрана несущественно влияют на эффективность экранирования. Установлена выраженная тенденция роста эффективности экранирования при увеличении частоты ЭМП.

5. Оценена эффективность экранирования полей частотой 50 Гц высоковольтных линий электропередачи. Модель экрана с длиной ребра 430 мм имеет эффективность экранирования электрического поля 73 раза. При имитации экранирования помещения с открытым проемом (окном, дверью и т.д.) путем снятия боковой стенки экрана эффективность экранирования снижается примерно

в 5 раз. Эффективность экранирования магнитного поля частотой 50 Гц практически равна 1

Проведенные исследования являются этапом в выполнении всего комплекса работ по оценке эффективности моделей экранов из магнезиально-шунгитового материала «Альфапол ШТ-1». В соответствии с разработанной программой и методикой исследований дальнейшими направлениями работы являются:

- исследование заземленных моделей экранов;
- исследование эффективности экранирования при воздействии импульсных электромагнитных полей.

Дополнительными дальнейшими направлениями работ являются исследования многослойных экранов и исследования электрофизических характеристик материала с целью определения его поглощающих и отражающих свойств.

По результатам выполненных исследований выработаны следующие рекомендации по направлениям применения экранирующего магнезиально-шунгитового материала «Альфапол ШТ-1»:

1. Защита объектов с протяженными и разветвленными техническими системами от внешних электромагнитных излучений и преднамеренных воздействий по эфиру.
2. Защита от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений, особенно в условиях ограничения по границе контролируемой зоны.
3. Защита персонала и населения, работающего и проживающего в зоне радиопередающих средств и радиолокационных станций в условиях превышения действующих электромагнитных полей предельно допустимых уровней по санитарным нормам.
4. Защита населения, проживающего вблизи высоковольтных линий электропередачи, особенно в городах с плотной застройкой и решение задачи

защиты при осуществлении производственной застройки зон непосредственно вблизи высоковольтных линий электропередачи.

5. Защита персонала военных объектов и испытательных лабораторий, работающего с источниками ЭМП радиочастотного и радиолокационного диапазонов.

Технико-экономическая эффективность внедрения результатов исследований определяется следующими преимуществами применения экранирующего магнезиально-шунгитового материала «Альфапол ШТ-1»:

- простота применения – являясь строительным материалом магнезиально-шунгитовые смеси наносятся на поверхности помещения как отделочный материал;

- эффективность проектных решений – применение материала не требует разработки специальных проектных разработок в отличие от традиционных экранированных кабин и укрытий;

- эффективность экранирования выделенных помещений – реализация требуемых характеристик экранирования помещений может достигаться за счет многослойного экранирования путем сочетания слоев наружной и внутренней отделки;

- большие объемы экранирования – магнезиально-шунгитовым материалом могут покрываться неограниченные внешние и внутренние поверхности зданий и помещений, что особенно важно при решении задач экранирования протяженных и разветвленных технических систем объекта;

- низкая стоимость материалов – стоимость магнезиально-шунгитовых материалов соизмерима со стоимостью обычных строительных материалов, применяемых для внешней и внутренней отделки помещений (для сравнения минимальная стоимость экранированного укрытия из металлизированных тканей, обеспечивающих эффективность подавления ПЭМИ 40 дБ, составляет от 65 000 руб. за м², а стоимость магнезиально-шунгитовых материалов 150 руб. за м², при

этом установка экранированных кабин и укрытий на объектах требует разработки специального проекта и производства значительного объема строительно-монтажных работ);

- эффективная поглощающая способность - магнезиально-шунгитовый материал обладает высоким показателем поглощения электромагнитного излучения и низким коэффициентом отражения, что принципиально важно для уменьшения переотраженных сигналов в помещениях со сложной внутренней электромагнитной обстановкой.

Помимо указанных экранирующих свойств магнезиально-шунгитовые материалы обладают антистатическими и родонозащитными свойствами, защитой от геопатогенного излучения, в отличие от металлических кабин не экранируют геомагнитное поле (что соответствует новым требованиям СанПиН) и обладают беспыльностью, маслобензостойкостью, морозоустойчивостью и высокой адгезией.

Проведенные в ходе НИР исследования выполнены на должном научно-техническом уровне и обладают новизной. Целенаправленных исследований экранирующих свойств магнезиально-шунгитовых материалов в целях электромагнитной защиты объектов ранее не проводилось. Не выдвигалось рекомендаций по применению материалов для защиты объектов исходя из требований по экранированию технических средств от внешних электромагнитных воздействий по эфиру и защите от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений.