

ДВИЛЯНСКИЙ Алексей Аркадьевич

**МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ
КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

**05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный технический университет» (г. Брянск) и Федеральном государственном казённом военном образовательном учреждении высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации» (г. Орёл)

Научный консультант: **Иванов Владимир Алексеевич**, доктор военных наук, профессор, член-корреспондент ФГКНУ «Академия Криптографии Российской Федерации», главный специалист научно-организационного отдела ФГУП «Научно-технический центр «ОРИОН», г. Москва

**Официальные
оппоненты:**

1. **Бурлов Вячеслав Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, профессор «Высшей школы техносферной безопасности» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический Университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург

2. **Карпенко Анатолий Павлович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

3. **Минаев Владимир Александрович**, доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, профессор кафедры «Специальные информационные технологии» ФГКОУ ВО «Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя», г. Москва

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург

Защита состоится 25 февраля 2022 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.021.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» по адресу: 241035, г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» и на сайте университета по адресу: <https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/dvilyanskiy-aleksey-arkadevich1>

Отзыв на автореферат высылать на адрес: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

М.Ю. Рытов

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Объекты национальной инфраструктуры, обеспечивающие жизненно важные общественные функции, всегда рассматривались потенциальными злоумышленниками в качестве возможных «мишеней» для воздействия. Среди них особо выделяются объекты, частичная деградация или полная потеря функциональности которых способна влиять на жизнедеятельность общества и государства, а также приводить к чрезвычайным ситуациям определенного уровня и масштаба. К таким объектам относятся **объекты критической информационной инфраструктуры Российской Федерации** (КИИ РФ, далее – КИИ).

С появлением у групп экстремистского толка возможности создавать малое по размерам оборудование, которое генерирует электромагнитные импульсы (ЭМИ) микро- и наносекундной длительности, на первый план выходит проблема оценки и предотвращения целенаправленного воздействия ЭМИ, приводящее к функциональному и катастрофическому поражению микропроцессорной и конструктивной элементной базы средств вычислительной техники (СВТ), которое проявляется в разрушении, плавлении и выгорании металлизации контактных дорожек, и, как следствие, деградации параметров компонентов объектов КИИ – компьютерного оборудования), искажения обрабатываемой информации, за счет возникающих в информационных сетях внутренних электромагнитных излучений и наводок (ВЭМИН), что в итоге приводит к невозможности обеспечения достоверности и непрерывности предоставляемых информационных услуг потребителям.

Одной из основных задач для объектов КИИ, обеспечивающих жизненно важные общественные функции, являются анализ и оценка последствий от воздействия ЭМИ искусственного происхождения, результатом которого является дезорганизация систем управления, подавление технических средств охраны (ТСО) особо охраняемых объектов, а также причинение значительного экономического ущерба.

В настоящее время, по мнению российских и зарубежных специалистов, наблюдается примитивность и несовершенство действующих математических моделей, учитывающих взаимное влияние как секторов, так и объектов критической инфраструктуры, математических методов моделирования ущерба, живучести и помехозащищённости объектов, а также отсутствие комплексных компьютерных моделей, позволяющих учитывать не только ЭМИ, но и расположение источников электромагнитного поля (ЭМП) внутри объектов КИИ.

Все это требует пересмотра традиционных подходов к обеспечению функциональной устойчивости КИИ с учетом нового вида опасности в их отношении – внешних ЭМИ.

Таким образом, в области обеспечения функциональной устойчивости (ОФУ) объектов КИИ имеет место *противоречие* между традиционными принципами и методами ОФУ и изменившимся содержанием современных способов и процессов воздействия в условиях интенсивного развития средств генерации ЭМИ. В свою очередь, *актуальной* представляется *научная проблема*, которая заключается в наличии системных противоречий и отсутствии математических моделей адекватного отображения процессов ОФУ объектов КИИ при воздействии ЭМИ в условиях динамики электромагнитной обстановки.

Целью исследования является разработка методологии, позволяющей с помощью математического моделирования, численных методов и комплекса программ обосновать мероприятия по обеспечению живучести и помехозащищённости объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии ЭМИ.

В этой связи **объектом исследования** выступают математические модели процессов функционирования компонентов объектов критической информационной инфраструктуры, подверженные воздействию электромагнитных импульсов.

Предметом исследования являются математические и вычислительные методы моделирования состояния объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ.

Исходя из цели исследования, в диссертации решаются следующие **научные задачи**:

1. Анализ проблемы ОФУ объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ.

2. Разработка элементов теории электромагнитного экранирования, на основании которых формируется математический метод моделирования экранирующей конструкции (ЭК), обеспечивающей устойчивое функционирование компонентов объектов КИИ при воздействии ЭМИ, **базирующийся** на учете функционала энергии (потенциала) электромагнитного поля, **отличающийся** от существующих эффектом обратимости, электрофизических свойств радиопоглощающих полимерных композиционных материалов (РППКМ), формирующих слои в многослойной конструкции, а также формы, количества и расположения в ней технологических неоднородностей на основе известных математических моделей, применяемых для решения электродинамических задач с выявлением общих признаков и подходов к их решению (п. 1 паспорта научной специальности).

3. Разработка математического метода моделирования ущерба, наносимого объектам КИИ при воздействии ЭМИ, **базирующегося** на иерархическом ранговом подходе, **отличающегося** учетом атрибутов функциональности объекта, подвергающегося воздействию и предусматривающего систематизацию их критичности с использованием экспертной системы для нахождения функции максимального предотвращенного ущерба при минимизации финансовых затрат (п. 1 паспорта научной специальности).

4. Разработка математического метода моделирования системы ОФУ объектов КИИ при воздействии ЭМИ, учитывающие условия их функционирования (п. 1 паспорта научной специальности), включающий:

– математический метод моделирования живучести объектов КИИ при воздействии ЭМИ, **базирующийся** на способах и приемах расчета условной вероятности «попадания» ЭМИ (преодоления им различного рода «препятствий»), **отличающийся** учетом надежности генератора ЭМИ и времени теплового рассеивания (переходных процессов) при тепловом вторичном пробое диэлектрика конструктивных элементов компонентов КИИ, обеспечивающий снижение уровней электромагнитных полей до безопасных величин;

– математический метод моделирования помехозащищённости объектов КИИ при проявлении внутренних электромагнитных излучений и наводок, **базирующийся** на аппарате теории обнаружения наведенного сигнала, **отличающийся** учётом аддитивности наводок электромагнитных излучений и собственных наводок конструктивного элемента КИИ.

5. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ, позволяющего проводить вычислительные эксперименты на основе разработанных алгоритмов, реализующих сформированные математические методы моделирования, а также технологического испытательного стенда для проверки адекватности математической модели экранирующей конструкции на основании результатов натуральных экспериментов с обоснованием и тестированием эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий (п. 3, 5, 6 паспорта научной специальности).

6. Разработка численного метода оптимизации экономических затрат в рамках обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры в условиях воздействия ЭМИ с целью максимального предотвращения ущерба, **базирующегося** на интеллектуальной технологии оптимизации и стабилизации систем, основанный на применении теории игр (симплекс-метод) и **отличающегося** возможностью выбора вариантов обеспечения их функциональной устойчивости (п. 4 паспорта научной специальности).

С учётом представленных научных задач исследования сформулированы положения, выносимые на защиту:

1. Математический метод моделирования экранирующей конструкции, обеспечивающей устойчивое функционирование компонентов объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов.

2. Математический метод моделирования ущерба, наносимого объектам критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов.

3. Математический метод моделирования системы обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов, учитывающие условия их функционирования.

4. Комплекс проблемно-ориентированных программ и технологический испытательный стенд, позволяющие проводить вычислительные эксперименты на основе разработанных алгоритмов, реализующих сформированные математические методы моделирования и проверку адекватности математической модели экранирующей конструкции.

5. Численный метод оптимизации экономических затрат в рамках обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры в условиях воздействия электромагнитных импульсов с целью максимального предотвращения ущерба.

Научная новизна базируется на совокупности разработанных в настоящем исследовании элементов **теории** математического моделирования в электродинамике, **позволяющих сформировать** математические методы моделирования экранирующей конструкции, ущерба, живучести и помехозащищённости, а также численный метод оптимизации экономических затрат и алгоритмов, **входящих в комплекс программ, и реализовать** с единых методологических позиций **концепцию ОФУ объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ**, направленную на разрешение выявленных системных противоречий в целях реализации принципов функциональной устойчивости данных объектов с учётом динамики электромагнитной обстановки, **базирующуюся** на комплексном исследовании проблемы, включающую анализ и синтез структур многофункциональных средств обеспечения живучести и помехозащищённости, **отличающуюся** интегральной оценкой показателей качества их функционирования на основе критериальных требований, предъявляемым к объектам КИИ в условиях воздействия ЭМИ (п. 1, 3, 4, 5 паспорта научной специальности).

Практическая значимость исследования определяется возможностями разработанных теоретических основ для обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ и заключается в том, что внедрение полученных моделей, методов, алгоритмов и комплекса программ на их основе позволяет (п. 6 паспорта научной специальности):

1. Проводить комплексную оценку функциональной устойчивости объектов КИИ с учетом применения по ним различных средств генерации ЭМИ с использованием проблемно-ориентированных программ.

2. Обеспечить комплексность использования современных инструментально-моделирующих средств, позволяющих анализировать информацию об электромагнитном влиянии, а также представить практические рекомендации по использованию многослойных экранирующих конструкций, математических методов моделирования ущерба, оценки живучести и помехозащищённости объектов КИИ, численного метода оптимизации экономических затрат в рамках обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ.

3. Определить перспективы практического использования результатов исследований – разработанной математической модели ЭК с использованием РППКМ и технологических процессов их производства на основании результатов натуральных экспериментов с обоснованием и тестированием эффективных вычислительных методов на основе современных компьютерных технологий.

Связь с государственными и научно-исследовательскими программами:

1. Математические методы моделирования, алгоритмы расчета, а также результаты моделирования применялись при расчетно-аналитическом обосновании проектных решений по реконструкции специального объекта (шифр «3165-А»), а также при разработке конструкторско-технологических решений по обеспечению живучести и помехозащищённости специальных объектов при настройке телекоммуникационного оборудования в технологическом зале специального объекта (шифр «720/7», Протокол № 11/15-2017), выполненных «Отделом конструкционной защиты от электромагнитных воздействий» 23 ГМПИ – филиалом АО «31 Государственный проектный институт специального строительства» (г. Санкт-Петербург).

2. Научно-технологические решения внедрены в практическую деятельность Управления вооружения Федерального органа исполнительной власти Российской Федерации при формировании предложений в проект государственной программы вооружения на период 2018-2025 годов.

В качестве **методологической основы** работы выступают: прикладные аспекты математического моделирования, анализа, статистики и логики, теорий обнаружения и оценок, управления, численные методы прогнозирования и принятия решений, синергетики, игр и множеств, электродинамики, электромагнитного экранирования электромагнитных полей, дифракции, метода конечных элементов, тензорного анализа, современные положения теории моделирования сложных систем. Архитектура построения математических моделей опирается на методы аналитического и численного моделирования.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов достигнута за счет системного подхода при рассмотрении всех вопросов исследования, полноценного учета проверенных на практике исходных данных, верификации дифференцированных результатов в рамках известных теоретических положений электродинамики, экранирования и функциональной устойчивости объектов и систем.

По теме диссертационного исследования **опубликованы монография и 72** научные работы, **23** из которых опубликованы в периодических научно-технических изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (6 статей входят в ядро РИНЦ) и **3** статьи в международной реферативной базе данных SCOPUS. Выполнено **6** научно-исследовательских работ. Получено **3** Патента на изобретения – № 2006106880/09, 20101128774, 2013129163; **1** Патент на полезную модель – № 20101128775 и **6** Свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ – 2019615291, 2019617589, 2019666919, 2019665023, 20206612174, 2020615361.

Реализации. Положения, выносимые на защиту, реализованы и внедрены в АО «31 Государственный проектный институт специального строительства» (г. Москва), Управлении вооружения Федерального органа исполнительной власти Российской Федерации (г. Москва), АО «НИИ «РУБИН» (г. Санкт-Петербург), ФГБОУ «Брянский государственный технический университет» (г. Брянск), АО «Славсервис-связь» (г. Орёл), ФГУП «НТЦ «ОРИОН» (г. Москва), что подтверждается актами внедрения и реализации.

Вклад автора в разработку проблемы. Во всех работах по теме диссертационного исследования, в том числе совместных, автору лично принадлежит обоснование актуальности, формулировка и решение научных задач, обоснование полученной научной новизны, разработка предложенных математических методов моделирования, комплекса проблемно-ориентированных программ и конструкторско-технологического решения, а также численного метода оптимизации экономических затрат.

Структура, объём и содержание диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Основная часть работы содержит 345 страниц машинописного текста, 126 рисунков, 24 таблицы и 4 приложения. Список литературы состоит из 197 наименований.

Апробации. Результаты исследований апробированы на 2-й Международной конференции по проблемам безопасности и противодействия терроризму (Москва, МГУ, 2006 г.); 2-й Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности. Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование» (Санкт-Петербург, СПбГТУ, 2006 г.); IX, X, XI Всероссийских межведомственных научных конференциях «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления» (Орёл, Академия ФСО России, 2015, 2017, 2019 гг.); The International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering» (MIP: Engineering-2019. April 4-6, 2019 in Krasnoyarsk, Russia) и других научно-технических конференциях международного, всероссийского, межведомственного и межрегиональных уровней.

Автор выражает благодарность профессору Ерёмченко В.Т. за консультирование в рамках второй и пятой главы диссертации.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность, сформулированы научная проблема и цель диссертационного исследования, определены предмет и объект исследования, научные задачи и новизна, положения, выносимые на защиту, практическая значимость исследования, представлены связь с государственными и научно-исследовательскими программами, методологическая основа, обоснованность и достоверность исследования, информация о реализации и апробации результатов работы, а также вклад автора в разработку проблемы.

В первой главе в рамках анализа проблемы ОФУ объектов КИИ при воздействии ЭМИ раскрываются фрагменты предметной области, которые в последующем определили направление исследований и использованы в процессе решения частных задач теоретического и практического аспектов работы, сформулированы основные определения и ограничения, принятые в ходе исследования.

Проведенный в ходе исследования анализ состояния указанной проблемы в России и за её пределами указывает на то, что данному вопросу уделяется особое внимание в рамках устойчивости большого числа удаленных объектов, обеспечивающих деятельность систем жизнеобеспечения, чему посвящено большое количество научных работ и публикаций, образующих внешнюю систему факторов, определяющих научные предпосылки и условия проведения данного исследования. Анализ работ показывает, что предмет исследования находится на пересечении нескольких научных областей: *методология научных исследований* – Новиков А.М., Новиков Д.А., Пономарев А.Б., Пикулева Э.А., Андреев Г.И., Иванов В.А.; *математическое моделирование* – Крон Г., Митра Р., Ильинский А.С., Потапов А.А., Сегерлинд Л., Митчелл Э., Норри Д.Ф., Нэш, Д. Нейман, М.С. Кубланов; *численные методы*, связанные с прогнозированием состояния объектов КИИ в нерасчётных условиях, – Бусленко Н.П., Кечиев Л.Н., Мырова Л.О., Хафнер Ч., Так Ч., Хорев А.А.; *электродинамика* – Веников В.А., Аранео Р., Гелоци С., Радаски У.Ф., Ловат Г., Сильвестер П., Балюк Н. В., Геков В.В., Иванов С.А., Боголюбов А.Н., Куприенко В.М., Парфенов Ю.В., Соколов А.А., Степанов П.В., и др.

В рамках комплексного исследования проблемы ОФУ объектов КИИ с учетом специфики воздействия, технических характеристик генераторов ЭМИ и анализа их поражающего воздействия, возникновения ВЭМИН, а также порождаемого воздействием ущерба установлено, что сбои и отказы микропроцессорной элементной базы существующих в настоящее время средств вычислительной техники (СВТ) объектов КИИ возникают при напряженности электрического поля ЭМИ порядка 1 кВ/м, что ведет к одновременному выводу из строя электронных и электроэнергетических систем на всей территории воздействия ЭМИ.

С учетом природы возникновения, классификации и характеристик ЭМИ установлено, что существующие на настоящее время система, механизмы, методы и средства ОФУ (с учетом её структуры) объектов КИИ при воздействии ЭМИ не обладают универсальностью, и для достижения гарантированной устойчивости компонентов объектов необходимо их комплексное применение, что ведет к увеличению финансовых затрат на разработку системы обеспечения функциональной устойчивости (СОФУ). Таким образом, **электромагнитное экранирование (ЭМЭ)** в данных условиях представляет собой основной способ обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ в условиях преднамеренного воздействия по ним ЭМИ. Данные положения и анализ, проведенный в первой главе, определяют необходимость проведения дополнительных исследований, связанных с формированием и обоснованием разработки методологии математического моделирования и постановки задачи, связанной с обеспечением живучести и помехозащищённости объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ.

Во второй главе представлен теоретический подход к формированию методологии математического моделирования процессов обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ в условиях деструктивных воздействий с учётом различных методов моделирования в электродинамике с описанием группы факторов реализации системы обеспечения устойчивого функционирования объектов КИИ, которые впоследствии позволили обосновать проектные и конструкторско-технологические решения по обеспечению живучести и помехозащищённости исследуемых объектов с формированием предложений в проект государственной программы вооружения. Информационная база разработки методологии представлена на рисунке 1.

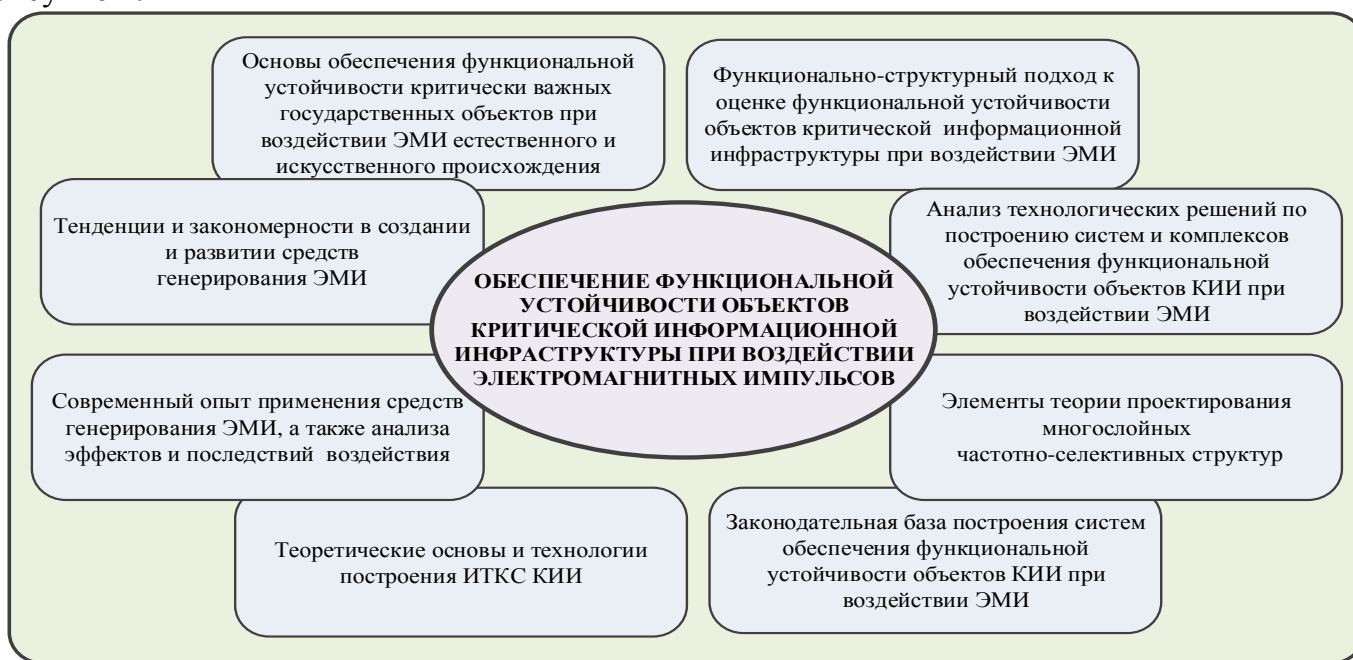


Рисунок 1 – Информационная база разработки методологии математического моделирования обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ

Анализ предметной области показал, что предмет исследования находится на пересечении нескольких областей науки, которые практически состоят в непрерывном движении и развитии, образуя внешнюю систему факторов, определяющих научные предпосылки и условия разработки указанной методологии. Основная трудность при таком подходе заключалась в построении формализованной схемы доказательства ввиду многосвязности проводимых аналогий и ассоциаций. Эта проблема решается методами количественного обоснования глубины

(силы) гипотез и диспозиции результатов по определенным методологическим правилам. Система полученных правил, по сути дела, и составляет основное содержание методологии, которая направлена на разрешение системных противоречий в целях реализации принципов живучести и помехозащищённости объектов с учётом динамики электромагнитной обстановки, **базирующейся** на комплексном исследовании проблемы, включающим анализ и синтез структур многофункциональных средств обеспечения устойчивости и отличающуюся интегральной оценкой показателей качества их функционирования на основе критериальных требований, предъявляемым к объектам КИИ в условиях воздействия ЭМИ.

В соответствии с вышеизложенными положениями, предложенный в работе **методологический подход решения научной проблемы** позволяет исследовать и изучить предметную область, а исходным пунктом в рамках разработки является обоснование её формы и типа.

Исходя из проведенного анализа поражающего воздействия мощного ЭМИ установлено, что для предотвращения последствий данных воздействий компоненты объектов КИИ должны быть максимально предохранены как естественными помехозащитными свойствами материалов ограждающих конструкций, так и специально принятыми мерами и средствами ОФУ.

В работе предложен функционал, отражающий критериальные требования к моделированию и последующей разработке экранирующих конструкций (ЭК) в рамках решения проблемы ОФУ объектов КИИ при воздействии ЭМИ:

$$\eta_{E(H)} = f \left(\overset{\mathbf{r}}{X}_{\{x_n\}}; \overset{\mathbf{r}}{Z}_{\{z_m\}}; \overset{\mathbf{r}}{Y}_{\{y_k\}}; \overset{\mathbf{r}}{V}_{\{v_i\}}; \overset{\mathbf{r}}{W}_{\{w_j\}} \right) \text{ при } \eta_{E(H)} \geq \eta_{E(H)\text{крит}} - \Delta\eta, \quad (1)$$

$$P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}} \geq P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}^{\text{треб}},$$

где $\eta_{E(H)\text{крит}}$ – критериальное требование, предъявляемое к экранирующим конструкциям по качеству экранирования; $\Delta\eta$ – допустимое отклонение реального коэффициента экранирования от критериального требования по качеству экранирования; $P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}} \geq P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}^{\text{треб}}$ – критерий функциональной устойчивости объектов в условиях воздействия ЭМИ; $P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}$ – достигаемая вероятность устойчивого функционирования объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ; $P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}^{\text{треб}}$ – требуемая вероятность устойчивого функционирования.

Система ОФУ характеризуется следующей группой переменных: $\overset{\mathbf{r}}{X}_{\{x_n\}}$ – множество, обусловленное полями ЭМИ с формализованным описанием амплитудных, частотных, временных и энергетических характеристик генераторов ЭМИ, представляющих совокупность входных воздействий на систему по требованиям стандартов; $\overset{\mathbf{r}}{Z}_{\{z_m\}}$ – множество выходных сигналов, обусловленное ВЭМИН с формализованным описанием их амплитудных, частотных, временных и энергетических характеристик; $\overset{\mathbf{r}}{Y}_{\{y_k\}}$ – множество внешних возмущений (электромагнитный шум, радиоактивный фон и т.п.); $\overset{\mathbf{r}}{V}_{\{v_i\}}$ – множество, признаков, характеризующих техническое состояние СОФУ: совокупность параметров, характеризующих электрофизические свойства (ЭФС) материалов

ЭК, конструктивные особенности экрана средств ЭВТ и его технологические неоднородности, взаимное влияние технологических неоднородностей друг на друга, а также совокупность внутренних параметров СВТ, представляющих собой стойкость конструктивных элементов СВТ к воздействующим полям; $\tilde{W}_{\{w_j\}}$ – множество управляющих воздействий, формируемых оператором подсистемы ОФУ.

В работе введены критериальные показатели коэффициента (эффективности) экранирования, которые назначаются в зависимости от рассматриваемой области (зоны) объекта (сооружения): *зоны слабой функциональной устойчивости* (объекта, не имеющего сплошного экрана, пространство вблизи входов и вводов коммуникаций) – $\eta_{E(H)_{\text{крит}}} \leq 20\text{дБ}$; *зоны средней функциональной устойчивости* (центральные объемы объекта) – $\eta_{E(H)_{\text{крит}}} \leq 90\text{дБ}$; *зоны высокой функциональной устойчивости* (центральные помещения объема объекта) – $\eta_{E(H)_{\text{крит}}} \geq 120\text{дБ}$. Допустимое отклонение реального коэффициента экранирования от критериального требования по качеству экранирования $\Delta\eta = \pm 14\%$. При выполнении указанных критериальных показателей эффективности должно достигаться следующее требование к $R_{\text{ФУ}_{\text{окни}}}^{\text{треб}} \geq 0,95$. Такой подход позволяет производить оценку устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ, а также соответствие качественных показателей экранирования с фактической устойчивостью объектов, с учетом доказательства обратимости ЭМЭ, предусматривающей сохранение эффективности экранирования, независимо от того, где пространственно расположен источник ЭМП.

Далее выполнена постановка задачи исследования и математического моделирования, которая предусматривает решение внутренних и обратных дифракционных задач линейно поляризованной плоской волны, распространяющейся вдоль оси симметрии $\{\mathbf{E}^0, \mathbf{H}^0\}$, в классе импедансов, которые автоматически удовлетворяют условиям физической (конструктивной) реализации с целью достижения требуемого коэффициента экранирования физически реализуемой конструкции (ФРК), расположенной в полупространстве с потерями, и, которая в пределах заданной точности моделирует ЭМП с требуемыми характеристиками на основании применения методов Ритца и синтеза импедансного покрытия. Для собственных значений (действительные собственные импедансы, при которых наступает резонанс), существуют стационарные функционалы в вариационной постановке Ритца для решения скалярных (внутренних и внешних) задач дифракции в рамках решаемой проблемы. В качестве алгоритма для нахождения собственных элементов вспомогательных однородных задач в работе использован \mathbf{Z} -метод, в котором используются действительные собственные импедансы, предусматривающие граничные условия импедансного типа (вспомогательные импедансные граничные условия (ИмГУ)), применение которых означает полную (изоляцию) экранировку рассматриваемой области от остального объема, что, в свою очередь, указывает на самосопряжённую (вещественную) задачу, относительно скалярного произведения функцию Грина (интегральный оператор на поверхности S):

$$U(r)^+ - U(r)^- - Z_i \left(\frac{\partial U(r)^+}{\partial N} + \frac{\partial U(r)^-}{\partial N} \right) = 0|_{S_z}. \quad (2)$$

Разрабатываемая ФРК будет представлять собой слоистую частопериодическую гофру. В этом случае рассматриваемая задача дифракции предусматривает потери на поверхности тела (в стенках тела на границе S), а однородная задача (она не зависит от граничных условий)

будет **самосопряженной**, а собственные значения и соответствующая вспомогательная задача **вещественными**, то есть $\text{Im}\{\varepsilon_L; \mu_L\} = 0$. Характеристики $\{\varepsilon_L, \mu_L\}_{j=1}^L$ принимают постоянные значения в областях D_j .

Задача синтеза поверхностного импеданса представляется следующим образом:

$$\min_{Z_S \in Z} \sigma(Z_S, \xi_l) \text{ при } Z_S = \text{const}, \quad (3)$$

где $\sigma(Z_S, \xi_l)$ – обратный поперечник рассеяния; ξ_l – комплексная константа; Z_S – допустимые значений импеданса:

$$Z_S = \sum_{l=1}^L Z_l g_l(\varphi), \text{Re } Z_l \geq 0, \quad (4)$$

где Z_l – коэффициенты, подлежащие определению, а $g_l(\varphi)$ – базис на области локализации поверхностного импеданса.

В третьей главе, в рамках первого положения, выносимого на защиту и представленного в методологической схеме решения научной проблемы, раскрыты теоретические основы и разработаны элементы теории, определившие впоследствии разработку математического метода моделирования ЭК, обеспечивающей устойчивое функционирование компонентов объектов КИИ при воздействии ЭМИ, базирующегося на учете функционала энергии (потенциала) ЭМП, отличающийся от существующих эффектом обратимости, ЭФС РППКМ, формы и расположения технологических неоднородностей в многослойной конструкции.

Комплексное исследование обозначенной в работе проблемы показало целесообразность использования метода конечных элементов (МКЭ), представляющего собой дискретный сеточный метод (ДСМ) с применением аппроксимирующих функций в Гильбертовых пространствах, рассматривающий минимизацию функционала энергии $F(\mathbf{E}, \mathbf{H})$ вариационной задачи на совокупности функций, каждая из которых определена на своей подобласти. Указанный метод в сочетании с тензорным подходом к описанию ЭМП, учитывающим межэлементные связи при анализе электродинамических процессов с разделением сложных систем на дискретные компоненты (конечно-элементные *LR*-ячейки), выбран в качестве основного теоретического конструкта для получения функционала энергии (потенциала) ЭМП и последующего математического моделирования многослойной ЭК с учетом эффекта обратимости электромагнитных экранов, что является основной гипотезой исследования и позволило перейти от формально-математического языка к наглядному схематическому описанию исходной электродинамической задачи и разработать единый инженерный метод анализа и расчета сложных систем, что обеспечивает универсальность разработанных элементов теории.

На первом этапе в соответствии с тензорной теорией и теории перколяции ЭМП преобразуется в эквивалентные конечно-элементные *LR*-ячейки (преобразование структуры «лестничной сетки» (*SC-mesh*)), представляющие собой одномерные *ТЕМ*-волноводы.

На втором этапе в рамках обоснования применяемого подхода к получению функционала энергии (потенциала) ЭМП рассматривается *тетраэдр Паскаля*, состоящий из трехмерных комплекс-элементов, которым соответствуют полиномиальные функции формы (англ. *Function of the shape, FS*): $\Phi_e^i(x, y, z) = a + bx_e^i + cy_e^i + dz_e^i$, где a, b, c, d – коэффициенты аппроксимации. В соответствии с *Box Counting Theorem* и *Wilsson Theorem*, *тетраэдр*

Паскаля описывается биномиальными коэффициентами разложения $(x + y + z)^n$, при $n \geq 0$, что дает возможность представления $\Phi_e^i(x, y, z)$ в трехмерной области в матричном виде:

$$\Phi_e^i(x, y, z) = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & x & y^2 & z^3 \\ z^2 & 1 & x^3 & y^4 \\ y^3 & z^4 & 1 & x^2 \\ z & y^2 & x^4 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Применение *ТЕМ*-волноводов связано с собственным анализом частично или неоднородно заполненных волноводов СВЧ, в которых появляются ненулевые компоненты напряженности электрического E_z и магнитного поля H_z . Краевая задача (КЗ) для частично заполненного диэлектрического волновода имеет вид:

$$\nabla(\nabla \times \bar{E}) - \nabla(\nabla \times \bar{B}) = 0 \text{ в } \Omega; \quad (6)$$

$$\hat{n} \times (\nabla \times \bar{E}) = 0 \text{ на } \partial_1 \Omega; \quad (7)$$

$$\hat{n} \times (\nabla \times \bar{B}) = 0 \text{ на } \partial_2 \Omega. \quad (8)$$

где Ω – поперечное сечение неоднородно заполненного СВЧ-волновода (расчетной области); $\partial_1 \Omega$ – граница проводящей стенки волновода; $\partial_2 \Omega$ – граница, совпадающая с линией его симметрии. Границы $\partial_1 \Omega$ и $\partial_2 \Omega$ называются электрическими и магнитными стенками волновода, соответственно. Представление КЗ выражениями (6) – (8) предполагает использование функционала энергии (потенциала) $F(\mathbf{E}, \mathbf{H})$.

При падении на слоистую частотно-периодическую структуру ЭМП в виде плоской запаздывающей электромагнитной волны в декартовой системе координат с учетом независимости свойств среды от координаты x , уравнения Максвелла для волны с *горизонтальной поляризацией* электрического поля в частотном виде для каждого слоя представлены как: $E_y = \hat{E}_y^0(z) e^{-ik_0 x \sin(\phi)}$; $H_x = \tilde{H}_x^i(z) e^{-ik_0 x \sin(\phi)}$; $H_z = \tilde{H}_z^i(z) e^{-ik_0 x \sin(\phi)}$. При *вертикальной поляризации*: $E_x = \tilde{E}_x^i(z) e^{-ik_0 x \sin(\phi)}$; $E_z = \hat{E}_z^0(z) e^{-ik_0 x \sin(\phi)}$; $H_y = \hat{H}_y^0(z) e^{-ik_0 x \sin(\phi)}$. При определении $F(\mathbf{E}, \mathbf{H})$ в волноводе с помощью МКЭ тангенциальные компоненты E -полей (на границе исследуемых областей) должны быть равны нулю в электрической плоскости, в то время как по касательной компоненты H -полей должны быть равны нулю в магнитной плоскости.

С учетом тензорной природы поля и имеющейся при этом эквивалентности уравнений Кирхгофа с уравнениями Максвелла в x - y , y - z и z - x плоскостях: $U_x \equiv E_x$, $U_y \equiv E_y$, $U_z \equiv E_z$, $I_x \equiv H_x$, $I_y \equiv H_y$, $I_z \equiv H_z$, $\varepsilon_0 \equiv C$ – емкость и $\mu_0 \equiv L$ – индуктивность на единицу длины линий можно представить матричную структуру ковариантного антисимметричного 4-мерного тензора 2-го ранга как совокупность 3-мерного вектора и псевдовектора Леви-Чивита в координатах x, y, z :

$$\mathfrak{N}_{ijk} = [-\mathbf{E}, \hat{\mathbf{H}}^0] = \begin{bmatrix} 0 & -E_x & -E_y & -E_z \\ E_x & 0 & -H_z & H_y \\ E_y & H_z & 0 & -H_x \\ E_z & -H_y & H_x & 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 & E_x & E_y & E_z \\ -E_x & 0 & 1 & 1 \\ -E_y & 1 & 0 & 1 \\ -E_z & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{– 3-мерный полярный тензор в виде матрицы преобразований 4-мерного пространства (пространство Минковского)}$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & H_z & -H_y \\ -H_z & 0 & H_x \\ H_y & -H_x & 0 \end{bmatrix} \quad \text{– псевдотензор 2-го ранга (Леви-Чивита) магнитного поля в виде антисимметричной матрицы 3×3.}$$

При 3D-компьютерном имитационном моделировании данных процессов необходим расчет матриц большого объема, получаемых при дискретизации конечных элементов, требуется объем оперативной памяти в 10-и гигабайт, поэтому решение такой задачи возможно только при распараллеливании вычислений в системах автоматизированного проектирования (САПР).

Далее предложен эквивалентный функционал энергии (потенциал) $\min F(\mathbf{E}, \mathbf{H})$ ЭМП с учетом возможности представления функции с конечным носителем в виде контрвариантного тензора 3-го ранга:

$$\Phi_e^{ijk}(x, y, z) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & x^2 \cdot y \cdot z^3 - x \cdot y^2 \cdot z^3 & x^3 \cdot y \cdot z^2 - x \cdot y^3 \cdot z^2 \\ x \cdot y^2 \cdot z^3 - x^2 \cdot y \cdot z^3 & 0 & x^3 \cdot y^2 \cdot z - x^2 \cdot y^3 \cdot z \\ x \cdot y^3 \cdot z^2 - x^3 \cdot y \cdot z^2 & x^2 \cdot y^3 \cdot z - x^3 \cdot y^2 \cdot z & 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где α, β, γ – постоянные детерминированные ЭФС РППКМ каждого i -ого слоя, характеризующиеся магнитной проницаемостью μ_i , относительной диэлектрической проницаемостью ε_i и проводимостью материала σ соответствующего слоя; и применением **правила Эйнштейна** выглядит следующим образом:

$$\min F(\mathbf{E}, \mathbf{H}) = \nabla_i (\mathfrak{N}_{jk} \Phi_e^{jk}(y, z)) + \nabla_j (\mathfrak{N}_{ik} \Phi_e^{ik}(x, z)) + \nabla_k (\mathfrak{N}_{ij} \Phi_e^{ij}(x, y)) \quad (11)$$

Данные положения реализованы в программном модуле, на который получено Свидетельство о Государственной регистрации программ на ЭВМ № 2019666919 [35].

Полученные в рамках первого научного положения результаты предопределили подходы к дальнейшему развитию и совершенствованию теории электромагнитного экранирования и разработке математического метода моделирования, опирающегося на подходы, описанные в третьей главе, что позволило получить частотно-селективную структуру, обладающей эффектом обратимости относительно распределения ЭМП, отличающуюся от существующих учетом импедансных свойств ЭМП излучений, многослойностью структуры, формой и расположением технологических неоднородностей в экранирующей конструкции. В дальнейшем данные положения послужили основой для разработки конструктивно-технологического решения с целью создания ФРК, которая будет описана ниже. Выражение для определения качества экранирования конструкции с технологическими неоднородностями в виде запредельных волноводов (ЗПВ) в форме полых шестиугольных призм, объединенных в сотую решётку, представляется в следующем виде:

$$\eta_{(E(H))} = 20 \lg \left(\min F(E, H) \cdot [A_M \cdot S_B \cdot \Gamma \cdot K \cdot N_B] \right), \quad (12)$$

где A_M – аппроксимирующий множитель, зависящий от длины волны и характеристик ЭМИ, S_B – ослабление, вносимое волноводом в форме полой шестиугольной призмы при отражении; Γ – поправочный коэффициент отражения волновода; K – поправочный коэффициент, учитывающий взаимное влияние волноводов друг на друга; N_B – поправочный коэффициент числа волноводов в сотовой решётке определяет необходимое количество запредельных волноводов.

Далее, в рамках второго положения, выносимого на защиту, представлен иерархически-ранговый подход, позволяющий определять перечень возможных сценариев и степень опасности возникновения неблагоприятных ситуаций для анализируемого объекта, связанных с его функциональной устойчивостью и предусматривающих впоследствии определенную степень адекватности реализованных механизмов обеспечения устойчивости существующим в данной среде функционирования опасностям относительно объектов КИИ.

Рассматриваемые в работе деструктивные факторы, воздействующие на объекты КИИ, могут действовать как независимо друг от друга, так и комплексно с различной степенью перколяции, что предполагает учёт следующих данных: архитектура (внутреннее строение) объекта; «степень критичности» и ценность активов объекта и процедуры ОФУ объекта КИИ – «модель опасностей» объекта со стороны потенциальных злоумышленников, определяющая степень эффективности мероприятий по противодействию вероятным опасностям.

Число возникающих последствий при воздействии ЭМИ является дискретным, поэтому для нахождения искомого распределения рассматриваемый интервал ущерба $[D_{\min}; D_{\max}]$ разбивается на \mathfrak{z} участков $D_C = [D_{\min} + \eta \cdot \Delta D; D_{\max} + (\eta + 1) \cdot \Delta D]$, при $\eta = \overline{0, \mathfrak{z}}$, где множество $D_C = \{D_{i(j)}\}$ характеризует величину ущерба от каждого из исследуемых видов последствия воздействия ЭМИ. Следовательно, распределение вероятностей нанесения комплексного ущерба в условиях воздействия ЭМИ с учётом их взаимозависимости определяется выражением:

$$p_{D_C}(M) = \prod_{\forall ij, m \in M} p_{D_i} \cdot p_{D_j}, \quad \text{где } p_{D_i} = \prod_{D_{\min}}^{D_{\max}} p_m(\lambda_i) \quad \text{и} \quad p_{D_j} = \prod_{D_{\min}}^{D_{\max}} p_m(\lambda_j) - \text{вероятность нанесения}$$

ущерба: p_{D_i} – возникновение функциональных и катастрофических отказов компонентов объектов КИИ, p_{D_j} – возникновение внутренних электромагнитных излучений и наводок). При этом любое из перечисленных последствий нарушает целостность обрабатываемого и предоставляемого информационного ресурса и влечет за собой одинаковый ущерб независимо от их типа в соответствующем количестве их повторений $D_C = \sum_{\forall ij} D_{ij}$. С учётом того, что из

некоторого числа m воздействий будут реализованы только $k \leq m$, задача сводится к нахождению закона распределения вероятностей P_m отдельных воздействий при данном условии:

$$P_m(\lambda_{i(j)}) = \frac{P_{i(j)} \lambda_{i(j)}^m}{m!} e^{-P_{i(j)} \lambda_{i(j)}}, \quad \text{где } P_i - \text{вероятность } i\text{-го воздействия} - \text{воздействия ЭМИ по}$$

объектам КИИ; P_j – вероятность появления внутренних электромагнитных излучений и наводок, с учетом того, что на данном интервале времени при интенсивности $\lambda_{i(j)}$ возникло именно m воздействий).

Математический метод моделирования ущерба, наносимого объектам КИИ при воздействии ЭМИ, построен на основе размеченной системы переходов (ориентированный граф), состоящая $Cd_{(x,y)}$, которой отвечают состояниям объектов КИИ, а переходы – шагам потенциальных воздействий, что предусматривает представление исходного объекта КИИ в виде ранговой иерархии элементов и задания значений всех атрибутов (задание структурной модели объектов КИИ). С этой целью в работе разработан иерархически ранговый подход (ИРП, англ. – Hierarchical Range Approach, HRA), основанный на применении рангов – показателей, характеризующих относительный уровень «ценности (важности)» анализируемого объекта в группе других таких же объектов организационной системы. Объекты, соответствующие листовым вершинам дерева, являются корневыми (высшими) рангами.

Каждый ранг $s = 0, 1 \dots n$ имеет набор атрибутов – отдельные составляющие КИИ, позволяющие группировать объекты с одинаковыми (похожими) свойствами и функциональностью:

1. Атрибут «уровень устойчивости объектов КИИ» (L): $L = 1$ – базовый; $L = 2$ – средний; $L = 3$ – высокий; $L = 4$ – максимально допустимый.

2. Атрибут «функция устойчивости объекта КИИ»: требования и предположения по обеспечению принятых на объекте процедур ОФУ с их корректной интеграцией в рамках подсистем в составе объектов.

3. Атрибут «опасности, присущий данному объекту КИИ»: отказ, выход из строя – функциональные и/или катастрофические отказы оборудования, появление ВЭМИН.

4. Атрибут «состояние объекта КИИ» $Cd_{(x,y)}$, как следствие реализации воздействия характеризуется вектором $\alpha_s = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, где:

$$\alpha_s = \begin{cases} 1, & \text{при } L_k \text{ объект устойчив;} \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (13)$$

$$s = 0, 1 \dots n; \quad x = 0, 1 \dots, i - 1, l; \quad y = 0, 1 \dots, j - 1, j.$$

В таблице 1 представлена информация о наборе атрибутов объекта КИИ, направленных на оценку их устойчивости и показывающая «степень их влияния» на возможность возникновения ущерба в зависимости от действий, предпринимаемых в ходе реализации опасностей объектам КИИ. В таблице используются следующие обозначения: Rng_i – ранг объекта КИИ;

$\alpha_i, \dots, \alpha_n$ – список всех возможных значений атрибутов; $w_s^{Thr} \in W$ – «вес» соответствующего значения атрибута объектов КИИ по отношению к Thr , показывающего «степень его влияния» на возможность её реализации.

Таблица 1 – Информация о наборе атрибутов объекта КИИ, направленных на оценку их устойчивости

Наименование показателя	Показатели				
	Rng_s	Rng_s	...	Rng_s	Rng_s
Ранг объектов КИИ, $s = 1, \dots, n - 1, n$	Rng_s	Rng_s	...	Rng_s	Rng_s
Уровень устойчивости объектов КИИ, $k = 1 \dots 4$	L_k	L_k	...	L_k	L_k
Значения α_s	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	{0,1}
Вес атрибутов w , присущих данному объекту КИИ по отношению к опасности Thr	w_1^{Thr}	w_2^{Thr}	...	w_{n-1}^{Thr}	w_n^{Thr}

Состояние объектов КИИ $\overline{Cd}_{(x,y)}$, $x = 0, 1, \dots, i-1, i; y = 0, 1, \dots, j-1, j.$	$\overline{Cd}_{(0,0)}$	$\overline{Cd}_{(1,1)}$	\dots	$\overline{Cd}_{(x-1,y-1)}$	$\overline{Cd}_{(x,y)}$
---	-------------------------	-------------------------	---------	-----------------------------	-------------------------

Для каждой Thr имеются функции: $F_{Cth} : [0,1]$ – задает вероятность возникновения опасности в данном состоянии объектов КИИ; $H_{Cn} : \overline{Cd}_{(x,y)} \rightarrow \overline{Cd}_{(i,j)} \Big|_{\mathcal{G}_s}$ – задает правило перехода объектов КИИ в следующее состояние по текущему его состоянию; $D_C \rightarrow \mathbb{R}$ – определяет по данному состоянию величину ущерба, наносимого объектам КИИ, в случае если указанное состояние будет достигнуто; $p_{i,j} = f(F_{Cth}, H_{Cn})$ – вероятность нанесения ущерба объекту КИИ при достижении состояния $\overline{Cd}_{(i,j)}$. Каждый атрибут влияет на вероятность $p_{i,j}$ перехода объекта в следующее состояние по текущему его состоянию независимо от значений других атрибутов. $F_{Cth} = \prod_{s=0}^n \overline{\alpha}_s w_s^{Thr}$ в случае если $w = \mathbb{R}^+$. Реализация каждой Thr предоставляет нанесение ущерба ресурсам объектов КИИ и характеризуется ненулевыми позициями вектора $\mathcal{G}_s \in \{0,1\}$.

Величина ущерба D_C объектов КИИ в условиях воздействия характеризуется определенными значениями атрибутов, например, функциональным поражением компонентов (СВТ) объектов и/или возникновением ВЭМИН, приводящие к искажению достоверности представленных информационных ресурсов потребителям:

$$D_C(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = \begin{cases} N \text{ единиц ущерба,} & \text{если } \alpha_s = 0; \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases} \quad (14)$$

Результатом выполнения работы будет являться вектор $\overline{Cd}_0 \in \{0,1\}^n$, показывающий начальное состояние объектов КИИ в системе переходов, в котором пути, ведущие из начальной вершины, отвечают возможным сценариям воздействия ЭМИ. Далее, для каждого необработанного состояния $\overline{Cd}_{(i,j)} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ с условием $D_C(\overline{Cd}_{(i,j)}) \leq \Delta_{TD}$ (где Δ_{TD} – верхний порог величины ущерба, при котором он еще не считается существенным для функционирования объектов КИИ), для каждой Thr вычисляется значение вероятности состояния $H_{Cn}(Cd_{(0,0)} \rightarrow Cd_{(1,1)}) \Big|_{\mathcal{G}_s}$. Если окажется, что $p_{i,j} \geq \Delta_{TD}$, то в текущей системе переходов порождается новое состояние объекта КИИ, определяемое H_{Cn} и значением вероятности $p_{i,j}$. И, если H_{Cn} в системе переходов уже существует, то новое состояние не порождается, а лишь пересчитывается вероятность его возникновения. Указанная последовательность шагов повторяется до тех пор, пока возможно порождение новых состояний объектов КИИ. Величина опасности, характеризующая для воздействия ЭМИ Dng_{EMP} возможность нанесения объектам КИИ ущерба, определяется произведением: $Rsk = D_C(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \cdot p_{i,j}$.

Таким образом, задача синтеза СОФУ объектов КИИ сводится к оптимальному обоснованию количественных и качественных требований к системе при допустимых экономических затратах (при ограничении): $\min Exp(x_{ij}) \leq Exp_{доп}$ при $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$, где x_{ij} – степень выполнения i -го требования к СОФУ для устранения j -го внешнего воздействия.

Представленный подход для реализации данного математического метода моделирования позволит определить перечень возможных сценариев применения воздействий в виде ЭМИ, степень опасности их реализации, а также выявить слабые места в системе обеспечения функциональной устойчивости данных объектов с целью устранения неблагоприятных событий, что в конечном итоге позволит анализировать вероятность возникновения последствий (нанесение ущерба) с помощью управления рангами объектов КИИ.

Далее, в рамках третьего положения, выносимого на защиту, разработан *математический метод моделирования системы обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ*, базирующийся на способах и приемах расчета условной вероятности «попадания» ЭМИ (преодоления ими различного рода «препятствий») и математического вероятностного аппарата классического обнаружения наведенного сигнала. В рамках разрабатываемого метода учитывались условия эксплуатации его компонентов, характеристик среды распространения, параметры генераторов ЭМИ, возникающих полей ВЭМИН, а также средств ОФУ. Критерий функциональной устойчивости объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ представлен выражением:

$$P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}} \geq P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}^{\text{треб}}, \quad (15)$$

где $P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}$ – достигаемая вероятность устойчивого функционирования объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ, $P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}}^{\text{треб}} \geq 0,95$ – соответственно, требуемая вероятность обеспечения устойчивого функционирования объектов в условиях деструктивных воздействий. Функциональная устойчивость объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ определяется с помощью следствия теоремы умножения для независимых событий:

$$P_{\text{ФУ}_{\text{ОКИИ}}} = P_{\text{ВЫЖ}_{\text{ОКИИ}}} \cdot P_{\text{ПВАЗЩ}_{\text{ОКИИ}}}, \quad (16)$$

где $P_{\text{ВЫЖ}_{\text{ОКИИ}}}$ – вероятность выживания объекта КИИ при воздействии ЭМИ; $P_{\text{ПВАЗЩ}_{\text{ОКИИ}}}$ – помехозащищённость объектов КИИ в условиях возможного появления ВЭМИН. В случае невыполнения критерия осуществляется коррекция исходных данных с последующим повторением процедуры расчета критических напряженностей (потенциалов ЭМП), характеризующих ЭМИ и поля, приводящего к образованию ВЭМИН, до тех пор, пока не будут исчерпаны возможности по применению предлагаемых мер устойчивости компонентов с учетом реальных условий функционирования объектов КИИ.

В качестве обобщенного показателя живучести при воздействии ЭМИ на объекты КИИ предложена вероятность выживания объекта при выполнении условия, $P_{\text{ВЫЖ}_{\text{ОКИИ}}} \geq P_{\text{ВЫЖ}_{\text{ОКИИ}}}^{\text{ТР}}$, где $P_{\text{ВЫЖ}_{\text{ОКИИ}}}$ – вероятность выживания объектов КИИ в

условиях воздействия ЭМИ, которая вычисляется как $P_{\text{ВЫЖ}_{\text{ОКИИ}}} = \prod_{q=1}^k P_{\text{ВЫЖСВТ}_q}$, где

$P_{\text{ВЫЖСВТ}_q} = 1 - \prod_{m=1}^M P_{\text{ФПМ}_m}$ – вероятность выживания СВТ; $P_{\text{ФПМ}_m}$ – вероятность функционального поражения компонентов СВТ при воздействии ЭМИ определяется как:

$$P_{\text{фпм}} = \frac{P_{\text{T}}(0 < P_{\text{П}} < 1)}{P_{\text{П}}} \times \left[1 - \exp \left(- \frac{r_{\text{фп}}^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot f \cdot W_{\text{кр}} \cdot \alpha \cdot K}{P_{\text{и}} \cdot G_{\text{ЭМИ}} \cdot S_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{фЭМИ}} \cdot \beta \cdot \tau \cdot f_{\text{проц}} \cdot \nu_a} \right) \right], \quad (17)$$

где $0 < P_{\text{П}} < 1$ – безусловная вероятность применения ЭМИ по компонентам(СВТ) объектов КИИ; $W_{\text{кр}}(\text{Вт} \cdot \text{с})$ – критическое значение энергии, при котором наступает ФП элемента СВТ объектов КИИ; $P_{\text{T}}(0 < P_{\text{П}} < 1)$ – условная вероятность «попадания» ЭМИ (с учетом надежности генератора ЭМИ и преодоления им различного рода препятствий) и распределена по координатному круговому нормальному закону поражения (ККНЗП)

$P_{\text{T}}(P_{\text{П}} > 0) = P_{\text{откл}} \cdot \left(1 - \Phi_{\sigma} \left(\frac{r_{\text{фп}} - \epsilon_{\text{зп}}}{\sigma} \right) \right)$, где Φ_{σ} – функция плотности нормального распре-

деления радиуса зоны поражения $\epsilon_{\text{зп}}$; $P_{\text{откл}}$ – вероятное отклонение ЭМИ от центра объ-

екта воздействия; τ – длительность ЭМИ, нс; $\sigma = 0,477$ – постоянная нормального закона

распределения; $P_{\text{и}}$ (Вт) – пиковая мощность генератора ЭМИ; $G_{\text{ЭМИ}}$ – коэффициент направ-

ленного действия антенной системы генератора ЭМИ в направлении объектов КИИ;

$\eta_{\text{фЭМИ}}$ – коэффициент полезного действия антенной системы источника направленного излу-

чения ЭМИ; $\alpha = 4 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ – постоянная нарастания и $\beta = 5 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ – постоянная спада ЭМИ;

$S_{\text{э}}(\text{м}^2)$ – площадь экрана СВТ; ν_a – коэффициент использования площади экрана;

$f_{\text{проц}}$ (Гц) – тактовая частота работы типового процессора СВТ. Вероятность нанесения ущерба при воздействии ЭМИ определяется как $P_{D_{\text{эми}}} = \prod_{D_{\text{мин}}}^{D_{\text{макс}}} P_{\text{фпм}}(\lambda_i)$. Выполненный анализ проявле-

ния свойства помехозащищённости объекта КИИ на различных уровнях оценки дает возможность сделать вывод о том, что качественной мерой помехозащищённости объектов КИИ яв-

ляется вероятность помехозащищённости $P_{\text{ПзащОКИИ}}$ при выполнении условия:

$$P_{\text{ПзащОКИИ}} \geq P_{\text{ПзащОКИИ}}^{\text{тр}}, \quad (18)$$

где $P_{\text{ПзащОКИИ}}$ – вероятность помехозащищённости объектов КИИ при возникновении

ВЭМИН. Вероятность появления ВЭМИН определяется вероятностью:

$$P_{\text{ВЭМИН}} \approx \Phi \left(\Delta_i \cdot \sqrt{N_{\text{и}}} - (\Phi)^{-1}(1 - P_{\text{ЛТ}}) \right), \quad (19)$$

где $N_{\text{и}} = f_{\text{ВЭМИН}} \cdot t_a$ – количество осредненных импульсов ВЭМИН, $f_{\text{ВЭМИН}}$ – частота

ВЭМИН, t_a – время анализа; $\Delta_i \approx \max \frac{2 \cdot n_j}{\Delta F_j} \times \sum_{\Delta F_j} \left(\frac{E_{ci}}{K_{ai} \cdot \xi_{ri}} \right)^2$ – соотношение сигнал-шум,

где $E_{ci} = \sqrt{(\epsilon_{\text{и}} E_{\text{иi}})^2 - \left(\frac{E_{\text{пи}}}{\epsilon_{\text{и}}} \right)^2}$ – максимально возможный уровень напряженности поля

ВЭМИН за период измерений на i -й частоте, входящей в состав j -го частотного интервала

мкВ/м; $E_{Иi}$, $E_{Пi}$ – значение напряженностей поля ВЭМИН, измеренные на i -й частоте при включенном и выключенном тесте, соответственно, мкВ/м;

$\varepsilon_{и} = 1 + \sqrt{(10^{0,05 \cdot \sigma_a} - 1)^2 + (10^{0,05 \cdot \sigma_{ип}})^2} - 1$ – среднеквадратическая погрешность измеритель-

ного тракта, дБ; σ_a , $\sigma_{ип}$ – среднеквадратические ошибки калибровки измерительной антенны и измерения амплитуды сигнала измерительным приемником, соответственно, дБ;

$\Delta F_j = f_{Вj} - f_{Нj}$ – граница частот частотных интервалов излучений СВТ;

$P_{лт} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \Phi \left[\sqrt{\frac{\rho}{2}} \cdot \left(\frac{P_0}{P_{пср}} - 1 \right) \right] \right\}$ – вероятность «ложной тревоги», где $P_{пср}$ – среднее значение

помехи, P_0 – порог обнаружения; $\rho = \Delta F_j \cdot T$ – параметр временного накопления, T – период измерения. Помехозащищенность объектов КИИ в условиях возможного появления внутренних электромагнитных излучений и наводок определяется выражением

$P_{ПзашОКИИ} = \prod_{k=1}^K P_{ПзашСВТ_k}$, где $P_{ПзашСВТ_k}$ – помехозащищенность от ВЭМИН отдельного

СВТ определяется по аксиоме аддитивности, т.е. $P_{ПзашСВТ_k} = 1 - P_{вэмин}$.

Математический метод моделирования системы обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ как система взаимосвязанных частных методов позволит вырабатывать в дальнейшем адекватные предложения по совершенствованию механизмов разрабатываемой системы с одновременным управлением неблагоприятными для объектов КИИ событиями на любом из заданных уровней, а также обнаруживать факт несоответствия цели и вскрывать причины низкой эффективности организуемых мероприятий.

В четвёртой главе, в рамках четвёртого положения, выносимого на защиту, представлены комплекс проблемно-ориентированных программ и технологический испытательный стенд, позволяющие проводить вычислительные эксперименты на основе разработанных алгоритмов, реализующих сформированные математические методы моделирования и проверку адекватности математической модели экранирующей конструкции совместно с 3D – компьютерным имитационным моделированием с целью реализации алгоритма расчета ЭК на основе разработанного математического метода моделирования и обоснования конструкторско-технологического решения – многослойной экранирующая конструкция (МСЭК) компонентов объектов КИИ.

Задача повышения коэффициента экранирования ЭК, а следовательно, и функциональной устойчивости объектов КИИ, решается следующим образом: в конструкции, содержащем три последовательно расположенных экранирующих слоя, каждый из которых содержит ячейки, представляющие собой запердельные волноводы (ЗПВ), расположенные в шахматном порядке, причем соответствующие ячейки каждого слоя являются продолжением ячеек предыдущего слоя, а сами слои, соответственно, выполнены как «полимер-металл-полимер», что обеспечивает возможность повышения коэффициента экранирования электромагнитного экрана и применения предлагаемой конструкции в качестве защитного экрана СВТ объектов КИИ при воздействии ЭМИ, излучений и наводок, что обеспечивает требуемый уровень ослабления электромагнитных полей на 120 дБ в диапазоне от 0,8 до 10 ГГц и снижение затрат на проектирование с получением существенного экономического эффекта. На данное конструктивно-технологическое решение получены Патенты на изобретение и полезные модели.

Нанесение РППКМ на элементы ЭК происходило с использованием *технологии формования реактопластов на матрице (прямое прессование армированных композиций)*, позволяющей получать легкие трехслойные изделия (в виде сэндвича), обладающих высокой жесткостью, при котором предварительно раскроенные с помощью автоматической режущей машины листовые формовочные материалы поступают на прямое прессование в виде тонких полуплипких листов, нарезанных и уложенных стопкой по конфигурации в соответствии со схемой его размещения в пресс-форме (форма изделия). На рисунке 2 представлена смоделированная в *COMSOLv. 5.4* ЭК с внешним ЭМП в виде идеально-поглощающей области с использованием конечно-элементного анализа.

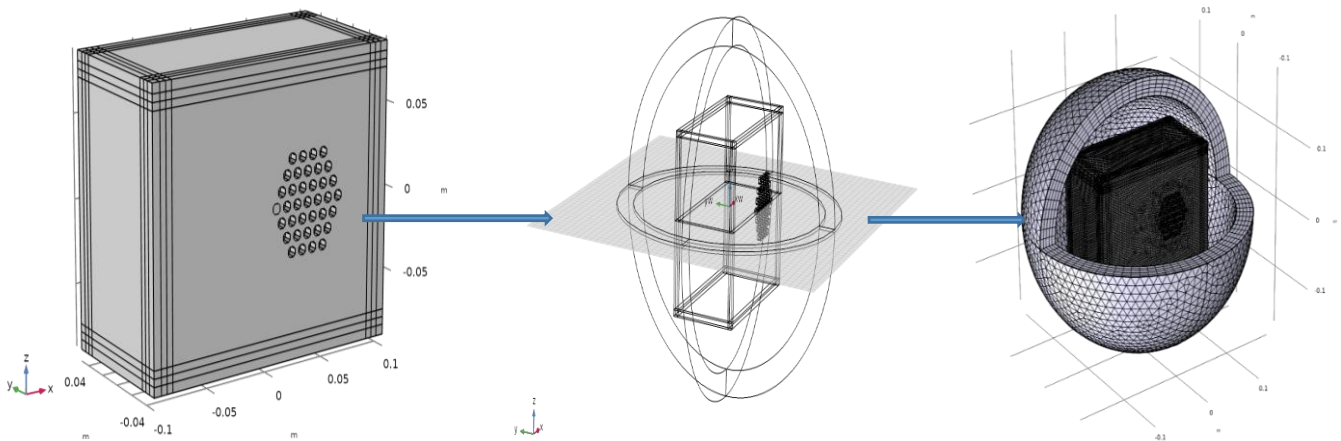


Рисунок 2 – 3D- компьютерное имитационное моделирование МСЭК в ПСКЭА *COMSOLv. 5.4* с представлением внешнего ЭМП в виде идеально-поглощающей области

Рисунок 3 представляет распределение составляющих ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутри ЭК при однослойном экранировании.

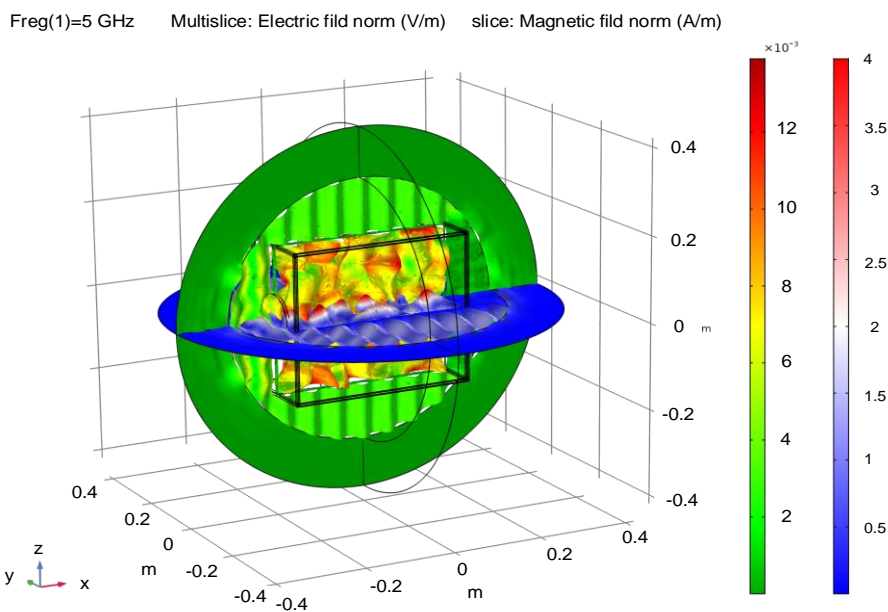


Рисунок 3 – Распределение составляющих ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутри ЭК при однослойном экранировании ЭМП ЭМИ.

В рамках подготовки натурального эксперимента было проведено 3D-компьютерное имитационное моделирование эксперимента по оценке воздействия мощных ЭМИ с частотой 5 ГГц с последующим анализом распределения полей данного излучения во внутреннем объеме ЭК при воздействии мощными ЭМИ и появления ВЭМИН в программных системах конечно-элементного анализа (ПСКЭА) *COMSOL Multiphysics 5.4 (COMSOLv. 5.4)* и *ANSYS HFSS 11.0*.

Как видно, уровень проникающих в экранирующий объем составляющих ЭМП ЭМИ максимален.

Распределение составляющих ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутреннем объеме МСЭК СВТ при воздействии мощными ЭМИ с частотой 5 ГГц в координатах x - y - z представлен на рисунке 4.

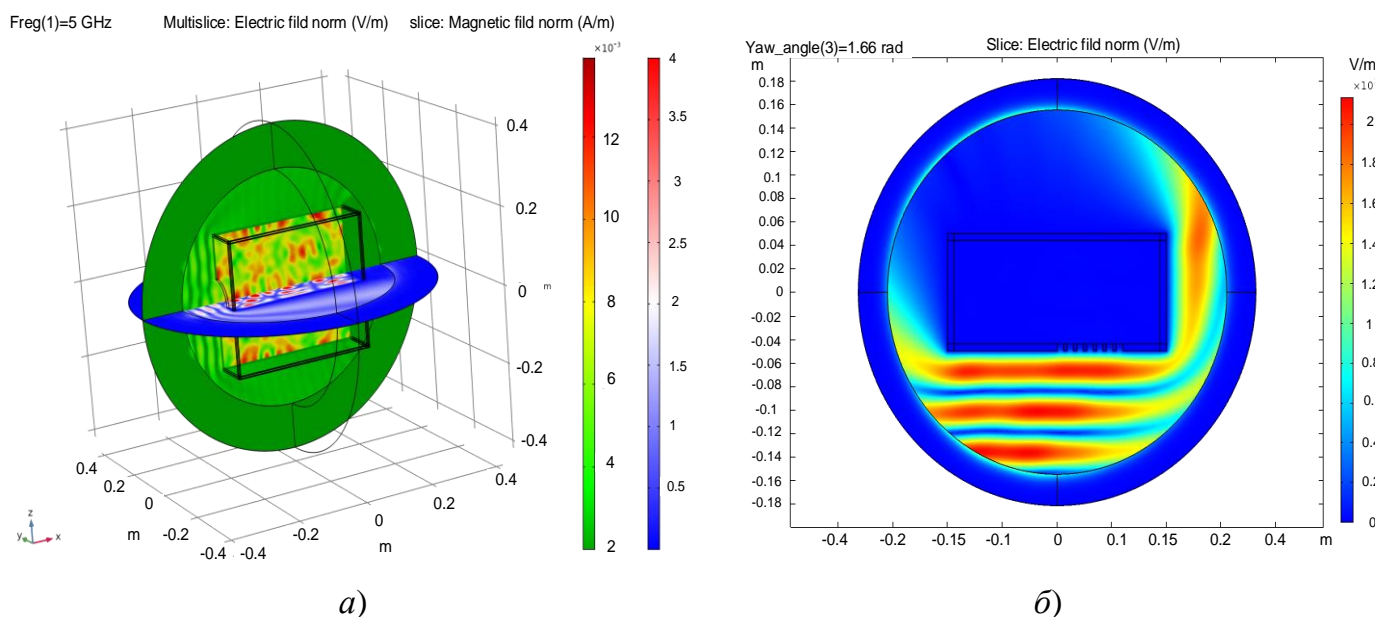


Рисунок 4 – Распределение электрической и магнитной напряженности ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутреннем объеме МСЭК СВТ при воздействии мощными ЭМИ с частотой 5 ГГц:

- а) в координатах x - y - z электрическая и магнитная составляющая ЭМП;
- б) в координатах x - y электрическая составляющая ЭМП.

График, отображающий распределение коэффициента экранирования МСЭК, выполненной по технологии *полимер-металл-полимер* с технологическими неоднородностями в виде полых прямых призм с сечением в форме правильных шестиугольников, объединенных в сотовые решетки с учетом геометрических размеров экрана, принятых при моделировании (при ограничении расчетной области) ЭФС слоев экрана и характеристик воздействующего ЭМИ, представлен на рисунке 5. Анализ рисунков показывает, что уровень составляющих ЭМП ЭМИ, проникающих в экранирующий объем при воздействии ЭМИ, минимален и не приводит к функциональным и катастрофическим отказам элементов СВТ объектов КИИ.

Далее в четвёртой главе на основе комплекса проблемно-ориентированных программ представлены результаты натуральных экспериментов по оценке адекватности разработанной математической модели параметров экранирующей конструкции, обеспечивающей живучесть и помехозащищённость объектов КИИ при воздействии ЭМИ, а также программный комплекс, реализующий разработанные алгоритмы в рамках математических методов моделирования, на который получено Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019616627 [31-35].

С целью подтверждения результатов математического моделирования ЭК были проведены натурные эксперименты по оценке живучести (стойкости) СВТ объектов КИИ при воздействии мощными ЭМИ СВЧ-диапазона на экспериментальной площадке «Испытательного центра электромагнитных и механических воздействий «23 ГМПИ – филиала АО «31 ГПИСС» (г. Санкт-Петербург) в соответствии с программой испытаний (рис.6).

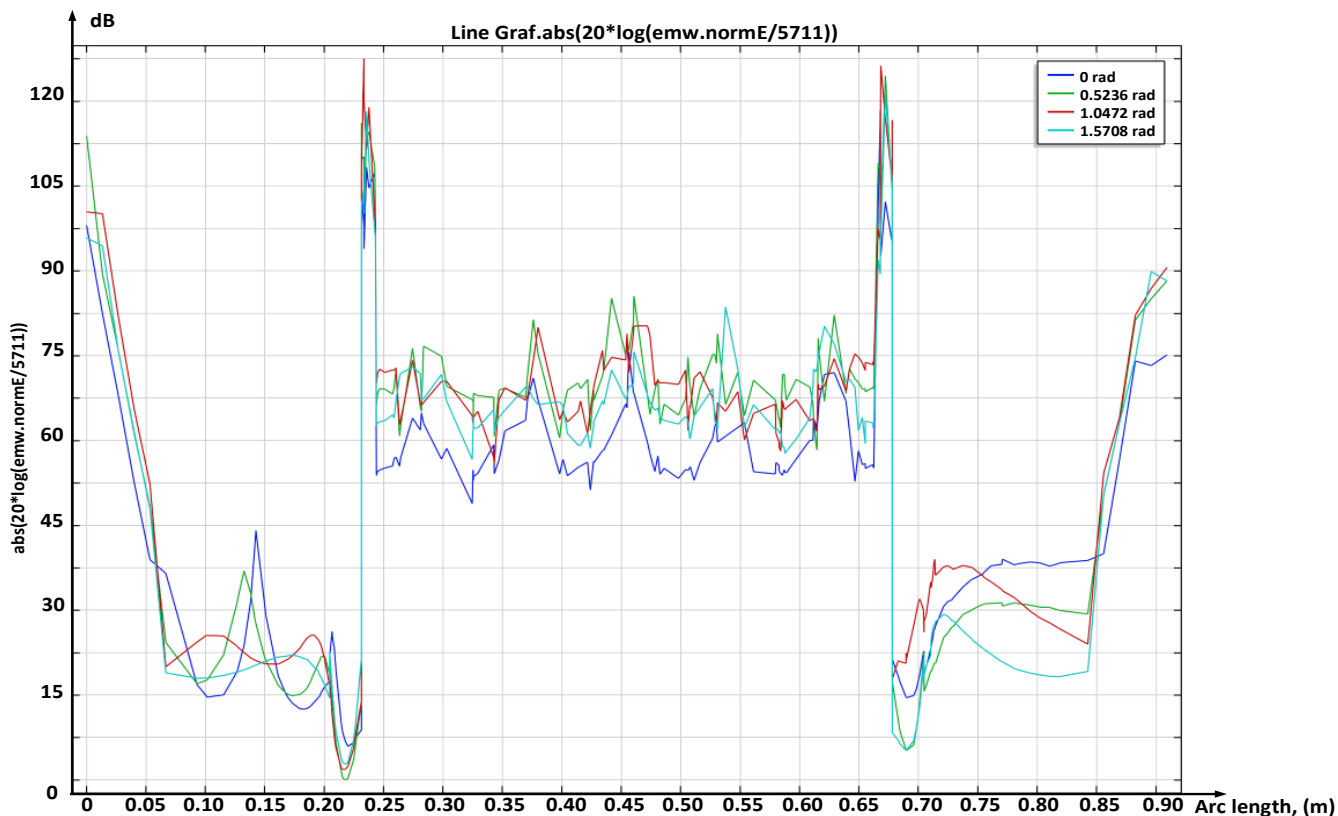


Рисунок 5 – График распределения коэффициента экранирования МСЭК

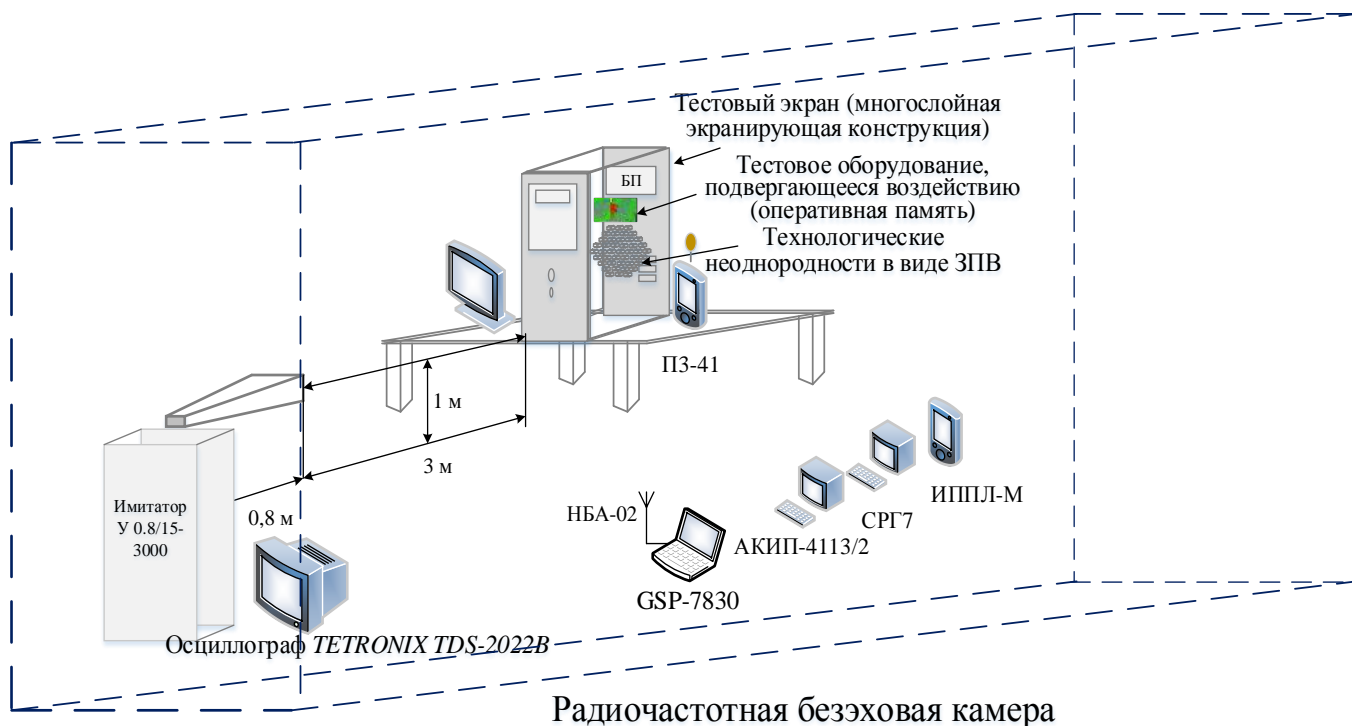


Рисунок 6 – Схематическое представление эксперимента по оценке живучести и помехозащищённости компонентов (СВТ) объектов КИИ в условиях воздействия мощными ЭМИ СВЧ-диапазона и проявления ВЭМИН

Результаты моделирования показывают, что без применения разработанной МСЭК компонентов (СВТ) объектов КИИ при воздействии ЭМИ выходят из строя гарантированно, а при её применении вероятность функционального поражения составляет не более 0,01 (рис. 7).

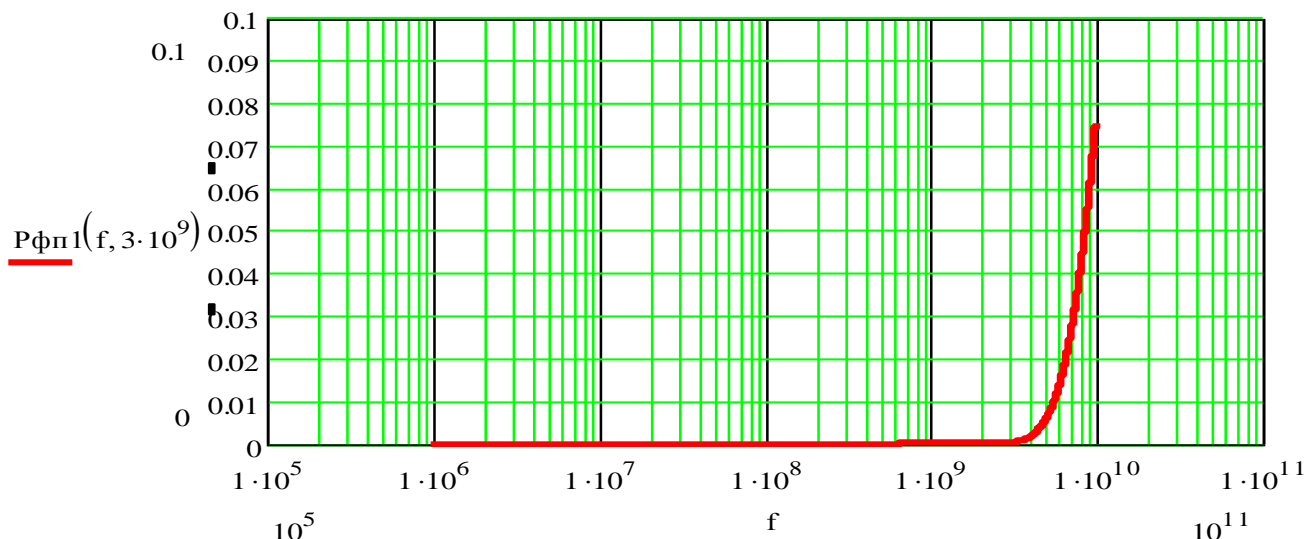


Рисунок 7 – Зависимость вероятности функционального поражения от частоты воздействующего ЭМИ с применением МСЭК

Эксперимент по оценке помехозащищённости компонентов (СВТ) объектов КИИ от внутренних электромагнитных излучений и наводок

Натурный эксперимент по оценке помехозащищённости компонентов (СВТ) объектов КИИ от ВЭМИН проводился в соответствии с программой испытаний защитного экрана СВТ (ЭВМ Intel Celeron E3200) с использованием анализатора спектра GSP-7830 (с антенной биконической измерительной НБА-02). Установлено, что повышение уровня функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ, посредством внедрения предлагаемых мероприятий с учетом обратимости электромагнитных экранов, предусматривающих сохранение эффективности экранирования, происходит независимо от того, расположен ли внутри него источник поля или защищаемая область пространства. При этом вероятность возникновения внутренних электромагнитных излучений уменьшается до уровня $P_{ВЭМИН} = 0,09$.

В результате проведенных экспериментов по оценке живучести и помехозащищённости объектов в условиях воздействия ЭМИ подтверждены результаты математического моделирования ЭК с учетом многослойности её структуры и формы технологических неоднородностей, верифицированные в (ПСКЭА) COMSOL Multiphysics 5.4 (COMSOL v. 5.4) и ANSYS HFSS 11.0.

Они показывают, что смоделированные экранирующие конструкции обеспечивают ослабление более чем на 120 дБ воздействующих на СВТ электромагнитных полей СВЧ-диапазона от 0,8 до 10 ГГц, с погрешностью не более 14 % от экспериментальных данных, полученных в рамках «Испытаний ЭВМ на соответствие требованиям п. 5.3, а ГОСТ РВ 20.39.308-98» (протокол № 11/15-2017 от 24.04.2017 г.), что обеспечивает выполнение критериальных требований, предъявляемых к системе ОФУ. Разработан программный комплекс, позволяющий производить расчет живучести и помехозащищённости объектов в условиях воздействия ЭМИ на основании имеющихся данных в соответствии с результатами математического моделирования экранирующей конструкции.

В пятой главе представлено пятое положение, выносимое на защиту, предусматривающее разработку численного метода оптимизации экономических затрат, позволяющий получать значительный экономический эффект в рамках обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ.

Качество функционирования системы ОФУ объектов КИИ в условиях воздействия ЭМИ во многом предопределяется выбором оптимальных вариантов (методов и способов) её построения.

В работе в целях реализации концепции обеспечения функциональной устойчивости разработана технология *ITOSS* (*Intellectual Technology of Optimization and Stabilization of Systems* – интеллектуальная технология оптимизации и стабилизации систем), предполагающая разработку и применение принципиально новых подходов к техническим решениям по устойчивости объектов с учетом того, что в условиях функционирования разрозненные неравновесные компоненты системы либо конкурируют между собой, либо образуют новые соединения, стабилизирующие друг друга.

В рамках реализации технологии *ITOSS* разработана «Программа для реализации интеллектуальной технологии оптимизации и стабилизации систем на основе Алгоритма Дейкстры «*ITOSS*»», на которую получено Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019666920 [34].

Задача оптимизации СОФУ объектов заключается в выборе наилучшей структуры системы и оптимального состава средств её обеспечения в указанной структуре, необходимых для достижения избранной цели, и базируется на применении абсолютного критерия выбора (АКВ): *каждый вариант из числа принятых к рассмотрению множества возможных вариантов выбора методов и способов создания СОФУ $M_{\bar{B}}$ определяется некоторой областью \bar{B} (совокупности параметров и показателей) при многостадийном выборе (МСВ): $\bar{K} \subset \bar{B}; \bar{I} \subset \bar{B}$ и обеспечивается наилучшими значениями из множеств \bar{K} и \bar{I} , где $\bar{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_p\}$ – множество параметров СОФУ (стоимость, массогабаритные параметры и т. д.); $\bar{I} = \{I_1, I_2, \dots, I_Q\}$ – множество показателей качества СОФУ (степень подавления поля мощного ЭМИ СВЧ и ВЭМИН, коэффициент готовности подсистемы).*

Выбор значений множества \bar{K} из совокупности \bar{B} при $(\bar{K} \subset \bar{B})$ определяет возможный вариант из множества $M_{\bar{B}}$ мероприятий по ОФУ объектов КИИ при воздействии ЭМИ.

Система ОФУ выполняет функцию полного или частичного предотвращения воздействия на исследуемый объект КИИ. В качестве показателя оптимальности системы принята вероятность предотвращения ущерба $P_{D_{\text{спред}}}$, наносимого объекту КИИ в указанных условиях. Ущерб D_C определяется в абсолютных единицах: экономических потерях при катастрофических отказах компонентах объектов (СВТ), временных затратах и объеме «доступной» информации и т. д. Практически оценить ущерб весьма затруднительно, особенно на ранних этапах проектирования СОФУ. Поэтому целесообразно вместо *абсолютного ущерба* использовать *относительный ущерб*, представляющий степень опасности электромагнитных импульсов для объекта КИИ.

Степень опасности в исследовании определяется экспертным путем в предположении, что вероятность применения ЭМИ по объекту КИИ составляет полную группу событий

$0 \leq D_C \leq 1; \sum_{\forall ij=1}^n D_{ij} = 1$. Задача синтеза и построения СОФУ объекта КИИ при воздействии

ЭМИ представляет собой поиск оптимального варианта при поиске равновесия в смешанных стратегиях, применяемых в теории игр. Предложенные численные методы моделирования позволяют анализировать возможные опасности относительно объектов КИИ, выявлять слабые места в СОФУ, вырабатывать адекватные предложения по улучшению состояния системы и осуществлять управление рисками неблагоприятных для данных объектов событий.

Общий предотвращенный СОФУ ущерб обозначим как \bar{D}_C , а предотвращенный ущерб за счет реализаций мероприятий по устойчивости объектов в условиях воздействия излучений

через \overline{D}_{RS} . Сформулируем в общем виде задачу синтеза средств обеспечения функциональной устойчивости объекта КИИ в условиях воздействия ЭМИ: *необходимо выбрать такой вариант обеспечения функциональной устойчивости, который обеспечивает минимизацию наносимого ущерба D_C в условиях воздействия ЭМИ при минимальных финансовых затратах Exp на её создание.* Задача минимизации ущерба D_C , заменяется эквивалентной ей задачей максимального предотвращения ущерба \overline{D}_C от воздействия угроз при допустимых затратах, выделяемых на СОФУ Exp_{adm} при фиксированном векторе распределения средств поражения \overline{Df} . Предотвращенный ущерб в общем виде определяется зависимостью $\overline{D}_C = F(p_{D_{ij}}; \overline{Df}; P_{D_C, пред})$, а предотвращенный ущерб за счет реализации мероприятий по обеспечению функциональной устойчивости зависимостью:

$$\overline{D}_{RS} = F(p_{D_{ij}}; \overline{Df}; P_{D_C, пред}) \rightarrow \max, \quad (20)$$

$Exp_{adm} \rightarrow \min$

где $\overline{P}_{D_C, пред} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^{opt} \cdot \overline{x}_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^{opt} \cdot \mu(x_{ij})^{opt}$ – вероятность предотвращения СОФУ воздействия ЭМИ при ограничениях $\min Exp(x_{ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$.

С учетом выражения (26) задача оптимизации при построении СОФУ принимает вид:

$$\overline{I}(\overline{K})_{I \subset B} \xrightarrow[\min]{Exp_{adm} \rightarrow \min} \overline{D}_{RS} \quad (21)$$

Стратегии «игроков» относительно решения задачи выбора оптимального вариант организации системы обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ представлены системами (28) и (29):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m y_i &\rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} y_i &\geq 1, \quad j = 1, \dots, n, \\ y_i &\geq 0, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_j &\rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^m \beta_{ij} x_j &\leq 1, \quad i = 1, \dots, m, \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \end{aligned} \quad (22)$$

Расчет экономического эффекта от внедрения конструкторско-технологического решения по обеспечению функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ

В качестве объекта КИИ, потенциально подвергающегося воздействию ЭМИ, была выбрана типовая автоматизированная система управления (АСУ), расположенная в типовом здании, которое проектировалось без учёта возможности таких воздействий. В связи с тем, что имеющаяся на объекте СОФУ не удовлетворяет предъявляемым требованиям по живучести и помехозащищённости, возникает необходимость проведения ряда мероприятий, направленных на их повышение.

Предположительная стоимость аппаратного комплекса, находящегося на данном объекте КИИ, составляет 2 094000 руб., следовательно, ущерб от воздействия излучений составит

$D_C(Att_k) = 2094000$ руб. Введены квалификационные признаки, соответствующие мероприятиям по обеспечению устойчивости объектов, которые подразделяются на следующие виды: *внешняя и внутренняя отделка* РППКМ здания объекта КИИ (стандарт *TEMPEST* и спецификация *NSA 73-2A (NSA – National Security Agency)*), *установка в здание модульных ЭК (МЭК)* сварного и модульного типа и многослойное экранирование корпуса компонента КИИ (СВТ); *многослойное экранирование корпуса* с коэффициентом экранирования, обеспечивающим требуемый уровень устойчивости объектов при воздействии ЭМИ. Достигаемый коэффициент экранирования, в соответствии с квалификационными признаками, составляет $\eta_{E(H)} = 100 - 120$ дБ.

Обоснование ЭФС различных слоев экрана с помощью разработанного математического метода моделирования заключается либо в формировании их при разработке новых материалов, либо в выборе из перечня существующих по критерию «*коэффициент экранирования – стоимость*»: *внешняя и внутренняя отделка типового здания субъекта объекта КИИ* – с учетом стоимости материалов (экранирующих металлизированных сеток *AARONIA 2000+*, *SISALKRAFT*), а также расходов, связанных с сопровождением проекта по внутренней или внешней отделке представленного объекта площадью $420 \text{ м}^2 - 580 \text{ 000}$ руб. («23 ГМПИ – филиале АО «31 ГПИСС»); *установка цельносварных и сборно-разборных МЭК* для размещения оборудования (ООО «НТЦ Фарадей», г. Санкт-Петербург) – 814 000 руб.; *многослойное экранирование корпуса средств ЭВТ* с учетом стоимости изготовления и нанесения РППКМ – 3577 руб./м^2 (ООО НПП «Спецоборудование», г. Ижевск), соответственно, стоимость экранирования СВТ в составе АСУ составляет 272 000 руб.

Используя полученные данные с целью решения оптимизационной задачи в смешанных стратегиях методом Брауна-Робинсона была составлена платежная матрица. Численные значения в платежной матрице обозначены следующим образом: $0,58 - 580 \text{ 000}$ руб., $0,272 - 272 \text{ 000}$ руб., $0,814 - 814 \text{ 000}$ руб. и $2,094 - 2 \text{ 094 000}$ руб.

Стратегии игроков: «А» – защита, «В» – «нападения»:

Стратегии игрока «А»	Стратегии игрока «В»				$S_A^* = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \end{vmatrix}$ Оптимальная стратегия игрока «А»
	B_1	B_2	B_3	B_4	
A_1	0,272	0,814	2,094	0,58	$S_B^* = \begin{vmatrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 \\ 3,4559 & 0,8656 & 0,2677 & 0,25 \end{vmatrix}$ оптимальная стратегия игрока «В»
A_2	0,814	0,272	0,58	2,094	
A_3	0,58	2,094	0,272	0,814	
A_4	2,094	0,58	0,814	0,272	
нижняя цена игры – $\alpha = 0,272$; верхняя цена игры – $\beta = 2,094$; цена игры $v = 0,94$.					

Полученное решение оптимизационной задачи означает, что для организации СОФУ АСУ в условиях излучений необходимы финансовые затраты не более 940 000 руб., являющиеся исходными данными для оценки экономического эффекта от проведения мероприятий по ОУФ объектов КИИ с использованием интегрального показателя:

$$\mathcal{E}_H = K_{RSK} \times \int_{t=0}^T \left[(M_B(t) - M_H(t)) - (P_B(t) - P_H(t)) \times \frac{1}{(1 + K_{dc})} - (K_B(t) - K_H(t)) \right] dt, \quad (23)$$

где K_{RSK} – коэффициент риска; $M_B(t)$ и $M_{II}(t)$ – расчетные материальные потери; $K_B(t)$ и $K_{II}(t)$ – капитальные вложения; $P_B(t)$ и $P_{II}(t)$ – эксплуатационные расходы на осуществление мероприятий по обеспечению функциональной устойчивости от воздействия излучений в базовом и планируемом вариантах, руб./год, соответственно; K_{dc} – коэффициент дисконта.

На основе представленного метода расчета реализованы программы расчета экономического эффекта от внедрения конструкторско-технологического решения по обеспечению функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ, на которую получено Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019616627 [31]. Объединенная структура программных модулей расчета экономического эффекта от внедрения конструкторско-технологического решения по обеспечению функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ и реализации интеллектуальной технологии оптимизации и стабилизации систем на основе Алгоритма Дейкстры «*ITOSS*» [34] представлена на рисунке 8.

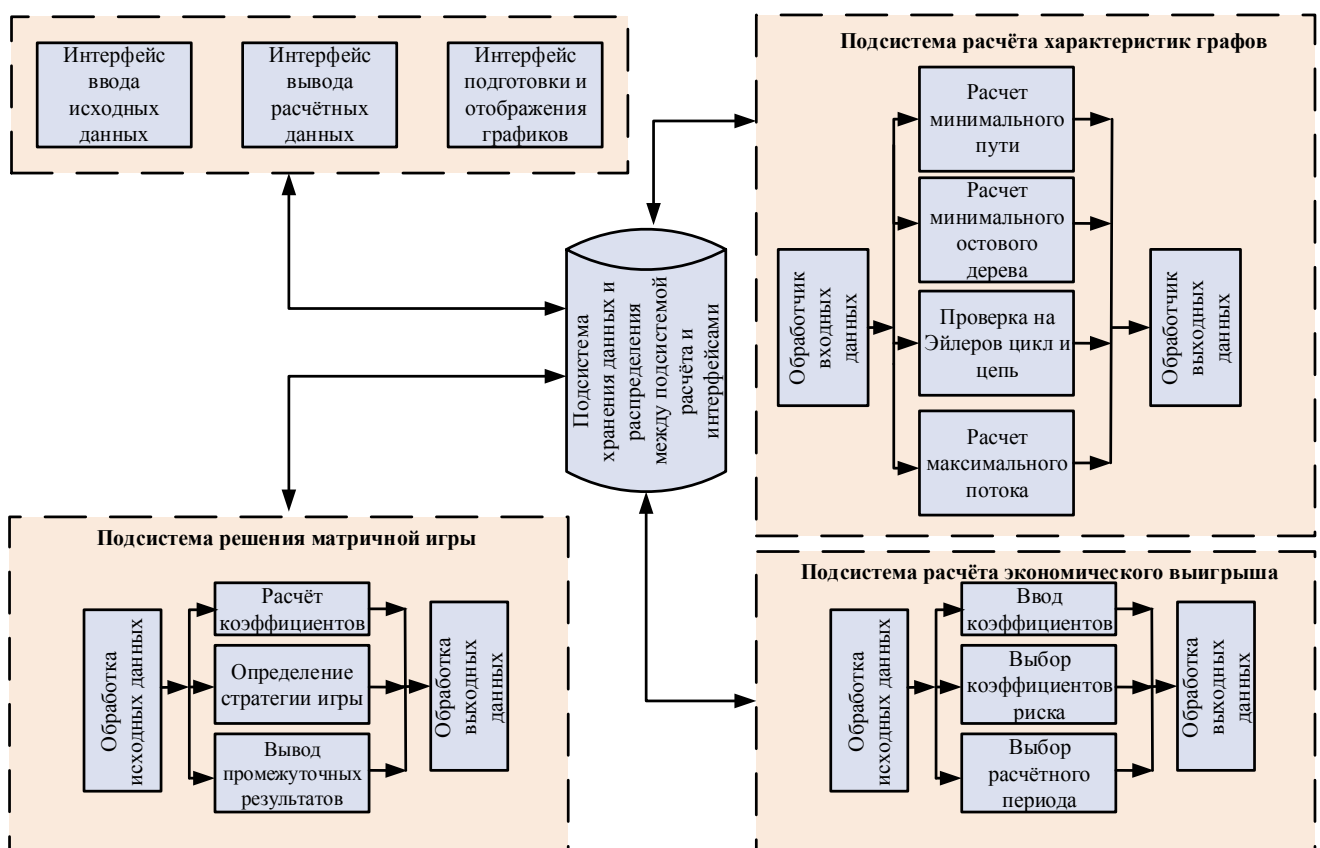


Рисунок 8 – Объединенная структура программных модулей расчета

Анализ полученных результатов позволяет утверждать о том, что применение разработанной МСЭК приводит к значительному снижению вероятности возникновения функциональных и катастрофических отказов и, соответственно, обеспечению функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ, что позволяет данным объектам выполнять задачи по предназначению с достижением значительного экономического эффекта при их (МСЭК) внедрении.

В заключении сформулированы основные результаты работы, степень достижения цели и направления дальнейших исследований.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕТАЦИОННОЙ РАБОТЫ:

Методологическая схема, используемая в процессе решения теоретического аспекта работы, позволила исследовать и изучить предметную область исследования, а также определить тенденцию развития теории и практики разработки ЭК, заключающуюся в переходе от совокупности частных моделей к комплексным способам, включающим математические модели. Это отразило развитие идеи комплексности решения проблемы построения ЭК и использования новых научно-теоретических подходов к анализу их характеристик, которые при определенном технологическом исполнении обеспечат достижение необходимо уровня живучести и помехозащищённости объектов КИИ при воздействии ЭМИ, что позволило обосновать проектные и конструкторско-технологические решения по обеспечению живучести и помехозащищённости данных объектов с целью формирования предложений в проект государственной программы вооружения на 2018–2025 гг.

На основе математического моделирования представлено конструкторско-технологическое решение, связанное с разработкой МСЭК и обоснованием ЭФС слоёв конструкции формы, количества и расположения технологических неоднородностей в ней, в целях обеспечения живучести помехозащищённости объектов КИИ с достижением требуемого уровня ослабления электромагнитных полей на 120 дБ (зона повышенной функциональной устойчивости) в диапазоне от 0,8 до 10 ГГц с получением существенного экономического эффекта при применении данной конструкции, а также возможности реализации указанной технологии в промышленности.

Представлены результаты проведенных автором в лаборатории «Электромагнитной совместимости» экспериментально-испытательной базы (ЭИБ) «ЭФЕС» «23 Государственного морского проектного института – филиала Акционерного общества «31 Государственного проектного института специального строительства» (АО «31 ГПИСС») натурных экспериментов по оценке адекватности разработанной математической модели характеристик экранирующей конструкции, обеспечивающей устойчивое функционирование компонентов объектов КИИ от излучений различной природы происхождения, которые использованы при расчетно-аналитическом обосновании проектных решений на реконструкцию объекта КИИ с погрешностью не более 14% от экспериментальных данных. При этом затраты на проектирование сокращаются на 60 чел×час с экономией 0,64 тонны металла (Сталь горячекатанная – Ст3пс) по сравнению с традиционной конструкцией экрана технологического зала.

Рекомендации. При анализе современного состояния теории и практики построения ЭК показано, что определяющей тенденцией развития является переход от совокупности частных решений к комплексным способам. В связи с этим назрела необходимость их использования как системы двойного назначения, которые при определенном технологическом построении смогли бы обеспечить функциональную устойчивость объектов КИИ от внешних и внутренних электромагнитных излучений.

Проведенный в диссертации анализ и исследования позволили получить новые решения, согласованные с закономерностями развития систем управления объектами критической информационной инфраструктуры Российской Федерации с комплексным исследованием научных и технических проблем, применяя современные технологии компьютерного и имитационного моделирования с целью проверки адекватности разработанной математической модели ЭК на основе данных натурных экспериментов, с возможностью выхода на технологию её производства, что обеспечивает выполнение требований и соответствие п. **1, 3, 4, 5, 6** паспорта научной специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Перспективы дальнейшей разработки темы. Наиболее целесообразным представляется разработка гибких методов, которые обеспечивают требуемые показатели живучести и

помехозащищённости и теоретически обосновывают конструкторские решения по применению технологии двойного назначения с целью обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ при воздействии электромагнитных импульсов, что и отражает развитие идеи комплексности решения проблемы построения ЭК и использования новых научно-теоретических подходов к анализу их характеристик. Данный подход, в свою очередь, позволяет реализовать новые возможности по повышению живучести и помехозащищённости объектов КИИ от воздействия излучений различной природы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых изданиях

1. **Двилянский, А.А.** Обоснование критерия функционального поражения ЭВМ / А. А. Двилянский, В.А. Иванов // Телекоммуникации. – № 3. – Москва : Наука и технологии, 2005. – С. 3–8.
2. **Двилянский, А.А.** Применение геометрической теории дифракции для расчёта экранирующего объёма в целях защиты электронного средства вычислительной техники при воздействии электромагнитного импульса / А.А. Двилянский, В.А. Иванов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – № 8, 2006. – С. 42–45.
3. **Двилянский, А.А.** Защита электронных систем критически важных государственных объектов от воздействия электронного импульса / А. А. Двилянский, В. А. Иванов, А. Н. Конищев // Научно-практический межотраслевой журнал «Интеграл». Вып. № 3. – Москва : Стратим, 2006.– С. 58–59.
4. **Двилянский, А.А.** Методы оптимизации системы защиты объекта информатизации от воздействия электромагнитного импульса / А.А. Двилянский, В.А. Иванов // Известия Тульского Государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». Вып. 9. – Тула : ТулГУ, 2006. – С. 20–25
5. **Двилянский, А.А.** Методика оценки порогового значения энергии поражения средств электронно-вычислительной техники при воздействии электромагнитным импульсом / А.А. Двилянский, В.А. Иванов, В.М. Куприенко, П.В. Попов, В. П. Тихомиров // Телекоммуникации. – № 9, 2007. – С. 29–36.
6. **Двилянский, А.А.** Модель поверхности, экранирующей воздействие электромагнитного импульса на средства инфокоммуникации / А.А. Двилянский, В.М. Куприенко, И.В. Иванов // Информационные системы и технологии. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». Номер: 4-2, 2007. – С. 263-272.
7. **Двилянский, А.А.** Методика обеспечения устойчивости элементов сетей связи в чрезвычайных ситуациях / А. А. Двилянский, В.А. Иванов, Е.В. Гречишников, О.В. Поминчук, А. С.Белов // Телекоммуникации. – № 2, 2009. – С. 31–37.
8. **Двилянский, А.А.** Модель структуры экрана для повышения защищённости средств электронно-вычислительной техники в условиях воздействия электромагнитным импульсом / А. А. Двилянский, В.А. Иванов, И.С. Константинов, В.М. Куприенко, М.А. Соськин // Вестник компьютерных и информационных технологий. Выпуск № 1. – Москва : Машиностроение, 2008. – С. 41–51.
9. **Двилянский, А.А.** Методика разработки средств защиты информационной системы от воздействия электромагнитного импульса / А. А. Двилянский, В.М. Куприенко, И.В. Иванов, А.А. Привалов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – № 3, 2010. – С. 26–35.
10. **Двилянский, А.А.** Выбор и обоснование математического аппарата для моделирования электромагнитных экранов, обеспечивающих защиту от ЭМИ и наводок / А. А. Двилянский, И. В. Иванов // «Вопросы радиоэлектроники», Серия «Системы и средства отображения и информации и управления специальной техникой. Электронная вычислительная техника», ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «Электроника», г. Москва. № 1, серия РЛТ, 2013, январь, вып. 1, С. 139-154.
11. **Двилянский, А.А.** Оптимизация системы защиты информации объектов инфокоммуникационных систем от кибертеррористических угроз / А.А. Двилянский, В.А. Иванов // Информационные системы и технологии. Информационная безопасность и защита информации. – Орел : Государственный университет – учебно-науч. производ. комплекс, № 3 (77) май-июнь.2013. – С. 118–126.

12. **Двилянский, А.А.** Обоснование фрактальности конечных элементов при решении сложных электродинамических задач и проектировании защитных электромагнитных экранов / А.А. Двилянский // Промышленные АСУ и контроллеры: Научтехлитиздат. – № 6, 2014. – С. 13-18

13. **Двилянский, А.А.** Решение задачи нахождения распределения трехмерного волнового вектора в технологических неоднородностях электромагнитных защитных экранов электронных средств автоматизированных систем управления SCADA / А.А. Двилянский, В.А. Иванов // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 3, 2015.– С. 19–26.

14. **Двилянский, А.А.** Синергетический подход к построению системы защиты объектов инфокоммуникационных систем от электронных атак / А.А. Двилянский, В. А. Иванов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика : Научтехлитиздат. – № 6, 2015.– С.7–16.

15. **Двилянский, А.А.** Синтез систем обнаружения аномального состояния в условиях недостаточной информации для формирования признакового пространства / А.А. Двилянский, В.Б. Ивкин, А.А. Селин // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 7, 2015. – С. 13–17.

16. **Двилянский, А.А.** Модель состояний мобильного абонентского устройства в помещениях с разными требованиями по защищенности / А.А. Двилянский, В.В. Комашинский, Д.О. Маркин // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 10, 2016. – С. 40–51

17. **Двилянский, А.А.** Алгоритм управления программно-аппаратной конфигурацией защищенного мобильного абонентского устройства / А.А. Двилянский, В.В. Комашинский, Д.О. Маркин // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 9, 2016.–С. 10–21.

18. **Двилянский, А.А.** Методология оценки комплексной защищенности объектов инфокоммуникационных систем от воздействия деструктивных электромагнитных излучений (электронных кибератак) / А.А. Двилянский, В.А. Иванов // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 2, 2017. – С. 31–49.

19. **Двилянский, А.А.** Теоретическая модель экранирующей конструкции, защищающей средства вычислительной техники объектов инфокоммуникационных систем от воздействия деструктивных электромагнитных излучений / А.А. Двилянский // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 9, 2018. – С. 19–36.

20. **Двилянский, А.А.** Математический метод моделирования ущерба, наносимого объектам критической информационной инфраструктуры при воздействии деструктивных электромагнитных излучений / А. А. Двилянский // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 8, 2019. – С. 45–51.

21. **Двилянский, А.А.** Численный метод оптимизации экономических затрат в рамках обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры в условиях воздействия электромагнитных импульсов / А. А. Двилянский // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 9, 2019. – С. 54–59.

22. **Двилянский, А.А.** Математический метод моделирования, позволяющий получать параметры экранирующей конструкции, обеспечивающей функциональную устойчивость компонентов объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов/ А. А. Двилянский // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 1, 2020. – С. 18–27.

23. **Двилянский, А.А.** Применение 3D-компьютерного имитационного моделирования в задачах по разработке физически реализуемых экранирующих конструкций / А. А. Двилянский, Ю. В. Мосин // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 7, 2020. – С. 46–55.

Публикации в международной реферативной базе данных SCOPUS

24. **Dvilyanskiy A.** Evaluation of damage to objects of critical information infrastructure under the influence of destructive electromagnetic radiation based on hierarchical rank approach / Alexey A Dvilyanskiy, Mikhail Yu Rytov. The International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering» (MIP: Engineering-2019). V. 537 in April 4-6, 2019 in Krasnoyarsk, Russia. *IOP Conf. Ser.: Mater.Sci. Eng.* 537 052015

25. **Dvilyanskiy A.** Substantiation of the choice of the optimal variant of measures for organizing and ensuring the protection of critical information infrastructure facilities when exposed to destructive electromagnetic radiation based on ITOSS technology /A. A. Dvilyanskiy, V.T. Eremenko, V.I. Averchenkov, A.V. Averchenkov, F.Y. Lozbinev.,M.Y. Rytov // Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences. Volume-8 Issue-6S3, April 2019, ISSN: 2278-3075 (Online), S.618-623.

26. **Dvilyanskiy A.** Problem-solving methods of reliability optimization of regional structures of socio-economic systems / Mishin D.S, Eremenko V.T, Lobanova V.A, Rytov M.Y, Dvilyanskiy A.A, Tretyakov O.V. // Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences. Volume-8 Issue-6S3, April 2019, ISSN: 2278-3075 (Online), S.624-629.

Основные патенты на изобретения, полезные модели и программы для ЭВМ

27. **Устройство активной защиты** и обеспечения активной защиты элементов распределенной локальной вычислительной сети в условиях внешних деструктивных воздействий // Патент на изобретение № 2316810 Рос.Федерация; заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 2006106880/09; заявл. 06.03.2006; опубл. **10.02.2008**. Бюл. № 4. – 17 с.

28. **Устройство** защиты от электромагнитного импульса // Патент на полезную модель № 100338 Рос.Федерация; заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 20101128775; заявл. 12.07.2010; опубл. **20.09.2010**. Бюл. № 12. – 12 с.

29. **Устройство** защиты средств электронно-вычислительной техники объектов информатизации от побочного электромагнитного излучения // Патент на изобретение № 2445736 Рос.Федерация; заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 20101128774; заявл. 12.07.2010; опубл. **20.03.2012** Бюл. № 8. – 21 с.

30. **Устройство** защиты средств электронно-вычислительной техники от электромагнитных излучений // Патент на изобретение RU № 2541225 С2Рос.Федерация; МПК *H01Q 17/00* (2006.1), *H05K 9/00* (2006.1) заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 2013129163; заявл. 25.06.2013 г.; Дата начала отсчета срока действия патента: 25.06.2013 г. опубл. **10.02.2015** . Бюл. № 4. – 10 с.

31. **Программа** для оценки экономического эффекта «MatrixNesh» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019616627 Рос. Федерация; заявители и патентообладатели Двилянский А.А., Модин А.А., Дубровин К.А., Кузьмин Н.С.; Заявка № 2019615291 от 13.05.2019. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **27.05.2019**.

32. **Программа** для расчета комплексной защищенности объектов критической информационной инфраструктуры от деструктивных электромагнитных излучений // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019617589 Рос. Федерация; заявители и патентообладатели Двилянский А.А., Власихин М.А., Шестов А.А., Гурков Н.М.; Заявка № 2019616218 от 29.05.2019. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **17.06.2019**.

33. **Программа** трансформации уравнений Максвелла в уравнения Кирхгофа на основе тензорного представления электромагнитного поля «KronTensor» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019666919 Рос. Федерация; заявители и патентообладатели Двилянский А.А., Вареница М. А., Кацай Е. А., Двилянская А.А.; заявка № 2019664566. Дата поступления –15.11.2019. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **17.12.2019**.

34. **Программа** для реализации интеллектуальной технологии оптимизации и стабилизации систем на основе Алгоритма Дейкстры «ITOSS» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019666920 Рос. Федерация; заявители и патентообладатели Двилянский А.А., Кудров Б.Б., Никандров М.Д., Двилянская А.А., Трофименков С.А.; Заявка № 2019665023 от 22.11.2019. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **17.12.2019**.

35. **Программа** для расчета эквивалентного функционала энергии (потенциала) электромагнитного поля на основе его тензорного представления и метода конечных элементов «EnergyPotential» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020613350 Рос. Федерация; заявители и патентообладатели Двилянский А.А., Власихин М.А., Шестов А.А.; заявка № 20206612174. Дата поступления – 27.02.2020. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **13.03.2020**.

36. **Программа** для проверки сходимости, устойчивости и вычислительной сложности алгоритма «MatrixCSC» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615361 Рос. Федерация; заявители и патентообладатели Двилянский А.А., Игнатушин В.Г., Лебедев Д.С., Двилянская А.А.; заявка № 2020613929. Дата поступления – 03.04.2020. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **21.05.2020**.

Публикации в других изданиях

37. **Двилянский, А.А.** Методология оценки комплексной защищенности объектов инфокоммуникационных систем от воздействия деструктивных электромагнитных излучений : монография / А. А. Двилянский, В.А. Иванов. – Орёл : Академия ФСО России, 2019. – 230 с.

38. **Двилянский, А.А.** Обоснование подхода к постановке задачи на разработку математического метода моделирования параметров экранирующей конструкции, обеспечивающей функциональную устойчивость компонентов объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов / А. А. Двилянский, Ю.В. Моисеев // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении : Брянский государственный технический университет. – № 1 (07), 2020. – С. 17–25

Основные публикации в сборниках трудов и материалов конференций

39. **Двилянский, А.А.** Защита электронных средств вычислительной техники от электромагнитного импульса / А. А. Двилянский, В. А. Иванов // Сборник трудов II международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». Т.7. Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. – Санкт-Петербург : СПбПУ. 2006. – С. 172–174.

40. **Двилянский, А.А.** Обеспечение безопасности инфотелекоммуникационных объектов при воздействии электромагнитного импульса. Материалы Второй международной научной конференции по проблемам безопасности и противодействия терроризму / В.А. Иванов, Е.В. Гречишников, А. А. Двилянский. Московский государственный университет, 2006. – Москва : МЦНМО, 2007. – 664 с.

41. **Двилянский, А.А.** Характеристика объектов инфокоммуникационных систем как критически важных сегментов информационной инфраструктуры Российской Федерации // Актуальные направления развития систем охраны и информации для нужд государственного управления : IX Всероссийская межведомственная научная конференция : материалы и доклады (Орел, 11–12 февраля 2015 года). В 12 ч. Ч. 11 / А. А. Двилянский; под общ. ред. В. В. Мизерова. – Орел : Академия ФСО России, 2015. – С. 39–42.

42. **Двилянский А. А.** Системотехнический синтез системы защиты объектов инфокоммуникационных систем от электронных кибератак на основе синергетического подхода / А. А. Двилянский, А.А. Двилянская : под общ. ред. В. В. Мизерова // Актуальные направления развития систем охраны и информации для нужд органов государственной власти Российской Федерации: X Всероссийская межведомственная научная конференция: материалы и доклады (Орел, 7–8 февраля 2017 года). В 11 ч. Ч. 10. – Орел : Академия ФСО России, 2017. – С. 138–141.

43. **Двилянский, А.А.** Таксономический подход к формализации объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации в условиях воздействия деструктивными электромагнитными излучениями / А. А. Двилянский, В. А. Иванов : Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд органов государственной власти Российской Федерации: XI Всероссийская межведомственная научная конференция: материалы и доклады (Орёл, 5–6 февраля 2019 года). В 10 ч. Ч. 8 / под общ. ред. П. Л. Малышева. – Орёл : Академия ФСО России, 2019. – С. 26–28.

44. **Двилянский, А.А.** Применение программной среды конечно-элементного анализа 3D-компьютерного имитационного моделирования *COMSOL MULTIPHYSICS 5.4* в задачах оценки живучести средств вычислительной техники объектов КИИ РФ при воздействии электромагнитных импульсов / «IX Межведомственная научно-практическая конференция «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Сборник трудов. Серпухов : МОУ «ИИФ», 2020. Т.3. С. 163–169.

ДВИЛЯНСКИЙ Алексей Аркадьевич

МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ
КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Подписано в печать 23.11.2021 г. Формат 60×80 1/16 Бумага офсетная. Офсетная печать
Печ. л. 1 Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Брянского государственного технического университета
241035, г. Брянск, БГТУ, бульвар 50 лет Октября, 7. Тел 55-90-49
Лаборатория оперативной печати БГТУ, ул. Институтская, 16