

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Грачев Николай Николаевич,

К.т.н., профессор, Московский институт электроники и математики (МИЭМ НИУ ВШЭ)
nnggrachev@mail.ru

Лазарев Дмитрий Владимирович,

К.т.н., доцент, Московский институт электроники и математики (МИЭМ НИУ ВШЭ)
qsk@mail.ru
05.12.04

Аннотация: В статье представлены основные положения о понятии электромагнитная безопасность при функционировании радиоэлектронных средств радиосвязного и радиолокационного профиля. Приведено описание разработанного научно-методического и программно-алгоритмического обеспечения по оценке электромагнитной безопасности на объектах морской инфраструктуры.

Ключевые слова: Электромагнитная безопасность, электромагнитная обстановка, оценка электромагнитной обстановки, объекты морской инфраструктуры.

SCIENTIFIC-METHODICAL AND SOFTWARE FOR EVALUATION OF ELECTROMAGNETIC IMMUNITY IN THE FUNCTIONING OF MARINE INFRASTRUCTURE

Grachev N.N., Lazarev D.V.

Moscow State Institute of Electronics and Mathematics (Technical University).

Abstract: The article presents the main points of the concept of electromagnetic safety in the operation of radio-electronic means radio communication and radar profile. A description of the developed scientific methods and Software for the evaluation of the electromagnetic safety of maritime infrastructure sites

Keywords: Electromagnetic safety, electromagnetic environment, evaluation of electromagnetic environment, the objects of maritime infrastructure.

Проблема электромагнитной безопасности существенно усложнилась из-за высокой плотности размещения на объектах морской инфраструктуры радиоэлектронных средств различного назначения.

Вследствие чего существенно возросли риски при проведении различных работ на технических объектах морского базирования.

При этом интегральное электромагнитное поле является сложным пространственным, частотно-временным процессом, требующим детального исследования и описания.

Комплексный характер проблемы электромагнитной безопасности (воздействие электромагнитного поля на ответственное оборудование, взрывчатые вещества и компоненты, легковоспламеняющиеся материалы, жидкости и газы, обслуживающий персонал) является предпосылкой создания новых технических методов для её решения.

Сложность электромагнитной обстановки (ЭМО), складывающейся на объектах морской инфраструктуры (ОМИ), укомплектованных с большой плотностью разнообразной радиоэлектронной аппаратурой, приводит к

возрастанию рисков при проведении различных работ. Комплексный характер проблемы электромагнитной безопасности (воздействие электромагнитного поля на ответственное оборудование, взрывчатые вещества и компоненты, легковоспламеняющиеся материалы, жидкости и газы, обслуживающий персонал) является предпосылкой создания новых технических методов для её решения.

При этом интегральное электромагнитное поле является сложным пространственным, частотно-временным процессом, требующим детального исследования и описания. При этом ЭМО присущ зачастую вероятностный характер за счёт множества источников электромагнитных полей и меняющихся условий эксплуатации.

Задача обеспечения электромагнитной безопасности (ЭМБ) на ОМИ напрямую зависит от качества оценки складывающейся на них ЭМО, поддающейся в той или иной мере прогнозированию.

Для примера на рисунке 1 показана зависимость уровней электромагнитных полей гектометрового диапазона и уровня наводимого напряжения при взаимодействии приёмной и передающей антенн радиосвязного профиля в зависимости от расстояния между ними и радиочастотного диапазона их работы. Наличие таких больших уровней электромагнитных полей и наведённых напряжений приводит к возрастанию рисков, связанных с невыполнением требований нормативно-технической документации по обеспечению электромагнитной безопасности в отношении воздействия электромагнитного поля на ответственное оборудование, взрывчатые вещества и компоненты, легковоспламеняющиеся материалы, жидкости и газы, обслуживающий персонал. Высокие уровни наводимых напряжений на проводящих конструкциях способствуют увеличению источников искрообразования, что для специальных объектов морского базирования (нефтеналивных и газотранспортирующих танкеров, судов глубокой нефте- и газодобычи, нефте- газодобывающие платформы) является недопустимым. При этом комплексный харак-

тер проблемы электромагнитной безопасности состоит также в том, что невыполнение её требований влечёт возможность нарушения пожарной безопасности и взрывобезопасности на объекте морской инфраструктуры.

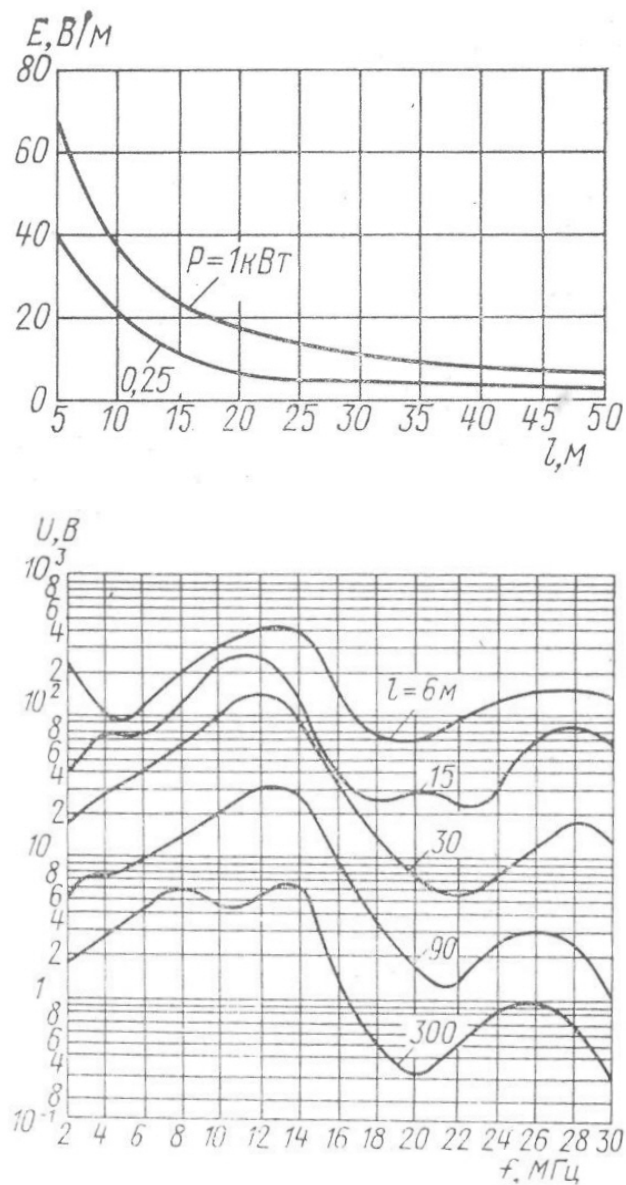


Рис. 1. Зависимость уровня электромагнитных полей и уровней наведённого напряжения при излучении передающей антенны в зависимости от расстояния до неё

В области оценки и обеспечения электромагнитной безопасности существуют не-

сколько нормативно-технических документов. Рассмотрим основные нормативные документы, затрагивающие аспекты электромагнитной безопасности.

Согласно Конституции Российской Федерации:

Статья 41.

п. 1. Каждый имеет право на охрану здоровья.

п. 3. Соккрытие должностными лицами фактов и обстоятельств, создающих угрозу для жизни и здоровья людей, влечет за собой ответственность в соответствии с федеральным законом.

Статья 42.

Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о её состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением.

В соответствии с Федеральным законом №184-ФЗ «О техническом регулировании» (принят 27.12.2002 г.):

Статья 6. Цели принятия технических регламентов

1. Технические регламенты принимаются в целях:

- ✓ защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;

- ✓ охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;

- ✓ предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей;

- ✓ обеспечения энергетической эффективности.

2. Принятие технических регламентов в иных целях не допускается.

Статья 7. Содержание и применение технических регламентов

1. Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- ✓ безопасность излучений;

- ✓ биологическую безопасность;

- ✓ взрывобезопасность;

- ✓ механическую безопасность;

- ✓ пожарную безопасность;

- ✓ промышленную безопасность;

- ✓ термическую безопасность;

- ✓ химическую безопасность;

- ✓ электрическую безопасность;

- ✓ ядерную и радиационную безопасность;

- ✓ электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;

- ✓ единство измерений;

- ✓ другие виды безопасности в целях, соответствующих пункту 1 статьи 6 настоящего Федерального закона.

Электромагнитная безопасность – состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, вызванный электромагнитным возмущением, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, техническим средствам, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

Риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

В соответствии с Федеральным законом – общим техническим регламентом «Об электромагнитной совместимости» (принят 02.07.2010 г.):

Совместимость электромагнитная (ЭМС) – способность технических средств функционировать без ухудшения рабочих показателей в электромагнитной обстановке, существующей в месте их размещения, не оказывая при этом неприемлемых электромагнитных возмущений на любые объекты в этой обстановке.

В соответствии с Федеральным законом – общим техническим регламентом «О безопасности объектов морского транспорта» (принят 12.08.2010 г.):

Статьи:

26. Для обеспечения взрывобезопасности объектов морского транспорта необходимо исключить прорыв отработанных газов, искр и пламени, контакт горячих частей с горючими и взрывоопасными веществами, которые могут явиться причиной взрыва.

29. На судне, перевозящем взрывоопасные грузы, необходимо предусматривать применение во взрывоопасных помещениях и пространствах изделий взрывозащищенного исполнения, предназначенных для работы со взрывоопасными смесями соответствующих категорий и групп. Выключатели освещения и штепсельные розетки не должны устанавливаться в этих помещениях. Конструкция и материал деталей палубных механизмов, устанавливаемых во взрывоопасных помещениях и пространствах, должны исключать искробразование.

32. На судне, перевозящем взрывоопасные грузы наливом, вместе с требованиями, предусмотренными пунктами 27 - 29 и 31 настоящего технического регламента, необходимо выполнение следующих требований:

г) во взрывоопасных зонах и помещениях запрещается размещать якорные, швартовные, шлюпочные, буксирные, сцепные устройства и их элементы, а также применять рабочий инструмент, приборы, аппаратуру, переносные детали и соединения трубопроводов, которые при нормальной эксплуатации могут вызвать искробразование;

80. Для нефтеналивного судна, судна газовоза и химовоза с целью исключения опасности взрыва перевозимого груза необходимо предусмотреть меры для снятия статического электричества.

89. Проектировщики, строители и изготовители объектов морского транспорта должны обеспечить выполнение требований к их электромагнитной совместимости, предусмотренных пунктами 90 - 91 настоящего технического регламента.

90. Электрическое и электронное оборудование, устанавливаемое на судне, в целях обеспечения его электромагнитной совместимости

должно быть проверено на электромагнитную совместимость и размещено так, чтобы не создавать помех средствам навигации, связи и другому оборудованию, используемому по прямому назначению.

91. Электрическое и электронное оборудование, устанавливаемое на судне, должно соответствовать техническому регламенту, устанавливающему требования к электромагнитной совместимости.

145. К электрическому оборудованию предъявляются следующие требования:

к) электрическое оборудование не должно являться источником вредных излучений и выделений токсичных веществ;

о) функционированию электрического оборудования не должен препятствовать имеющийся на судне электромагнитный фон.

168. В целях пожарной безопасности на судне необходимо соблюдение следующих требований:

м) во взрывоопасных зонах необходимо использовать взрывозащищенное электрооборудование и исключить все источники искробразования;

В соответствии с Федеральным законом «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта» (принят 12.08.2010):

Статьи:

28. В целях обеспечения взрывобезопасности изготовитель судовых технических средств и (или) строитель судна должны исключить прорыв отработанных газов, искр и пламени, контакт горячих частей с горючими и взрывоопасными веществами, которые могут явиться причиной взрыва.

31. На судах, предназначенных для перевозки взрывоопасных грузов, проектант должен предусмотреть применение во взрывоопасных помещениях и пространствах электрического оборудования взрывозащищенного исполнения, предназначенного для работы во взрывоопасных смесях соответствующих категорий и групп. Выключатели освещения и штепсельные розетки не должны устанавливаться в этих помещениях. Конструкция и материал деталей

палубных механизмов, устанавливаемых во взрывоопасных помещениях и пространствах, должны исключать искрообразование.

34. На судах, перевозящих взрывоопасные грузы наливом, помимо требований, предусмотренных пунктами 28 - 30 и 32 настоящего технического регламента, проектантом и строителем судна должны быть выполнены следующие требования:

д) запрещается размещать во взрывоопасных зонах и помещениях судовые устройства и их элементы, применять рабочий инструмент, приборы, аппаратуру, переносные детали и соединения трубопроводов, которые при нормальной эксплуатации могут вызвать искрообразование;

36. В помещениях, в которых вероятно скопление взрывоопасных газов или смесей либо предназначенных для хранения легко воспламеняющихся продуктов, должно быть установлено только взрывозащищенное электрическое оборудование.

69. Для достижения целей, указанных в пункте 67 настоящего технического регламента, проектант и строитель судна должны предусматривать следующее:

ж) на судах, перевозящих нефтепродукты и легко воспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки паров ниже 60 градусов Цельсия:

машинные помещения должны быть отделены от грузовых танков и сливных цистерн коффердамами, или насосными помещениями, или балластными танками;

должны быть предусмотрены конструктивные мероприятия, исключающие искрообразование во взрывоопасных пространствах и попадание утечек и паров легко воспламеняющихся жидкостей в помещения, для них не предназначенные.

219. При эксплуатации судов эксплуатантом должен быть организован контроль выполнения следующих требований:

б) запрещается использовать в пределах грузового пространства судов, перевозящих нефтеналивные и другие воспламеняющиеся

грузы, инструмент и выполнять работы, которые могут стать причиной искрообразования;

107. Электрическое и электронное оборудование, устанавливаемое на судне, должно соответствовать техническому регламенту, устанавливающему требования к электромагнитной совместимости.

188. Электрическое оборудование не должно являться источником вредных излучений и выделений токсичных веществ.

190. Функционированию электрического оборудования не должен препятствовать электромагнитный фон.

398. При перегрузке взрывоопасных веществ классов 1 - 4.3 по классификации Европейского соглашения о международной перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ) необходимо исключить все источники искрообразования.

В связи с принятием основополагающих законов, касающихся технического регулирования и комплексной электромагнитной совместимости можно проблему комплексной электромагнитной совместимости представить в виде, представленном на рис. 2.

HERF (HAZARDOUS ELECTROMAGNETIC RADIATION TO FUEL) - ОПАСНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТОПЛИВУ (Потенциал для топлива и нефтепродуктов, которые будут оказаны негативное влияние электромагнитной радиацией).

HERO (HAZARDOUS ELECTROMAGNETIC RADIATION TO ORDNANCE) - ОПАСНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ОРУЖИЮ (Потенциал для боеприпасов или взрывчатых веществ, активируемых электрическим способом, которым будут оказаны негативное влияние электромагнитной радиацией).

HERP (HAZARDOUS ELECTROMAGNETIC RADIATION TO PERSONNEL) - ОПАСНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПЕРСОНАЛУ (Потенциал



Рис. 2. Структура комплексной электромагнитной совместимости на ОМИ

для электромагнитной радиации, чтобы создать опасность для персонала).

HEMP (HIGH-ALTITUDE ELECTROMAGNETIC PULSE) - ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПУЛЬС БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИИ.

HERE (HAZARDS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION TO EQUIPMENT) - ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РАДИАЦИИ К ОБОРУДОВАНИЮ.

Представим обзор отечественных и зарубежных нормативных документов, касающихся всех направлений электромагнитной безопасности.

HERF (hazardous electromagnetic radiation to fuel):

✓ ОСТ 5P.6186-2005. Нефтеналивные суда и нефтепричалы. Электростатическая и гальваническая искробезопасность. Общие технические требования.

✓ ОСТ 5P.6172-80. Электромонтаж на судах. Прокладка кабеля и кабельных трасс в топливных (масляных) цистернах и взрывоопасных помещениях. Технические требования и правила монтажа.

✓ NAVSEA OP 3565/NAVAIR 16-1-529. VOLUME 1. ELECTROMAGNETIC RADIATION HAZARDS (HAZARD TO PERSONNEL, FUEL AND OTHER FLAMMABLE MATERIAL).

HEMP (high-altitude electromagnetic pulse), HERE (hazards of electromagnetic radiation to equipment)

✓ ГОСТ Р 51317.1.2-2007. Совместимость технических средств электромагнитная. Методология обеспечения функциональной безопасности технических средств в отношении электромагнитных помех.

✓ ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам.

✓ ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования.

✓ ГОСТ Р 54102-2010. Совместимость технических средств электромагнитная. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов при воздействии элект-

тромагнитных помех. Требования и методы испытаний.

✓ ГОСТ Р 51317.1.5-2009. Совместимость технических средств электромагнитная. Воздействия электромагнитные большой мощности на системы гражданского назначения. Основные положения.

HERO (hazardous electromagnetic radiation to ordnance)

✓ NAVSEA OP 3565/NAVAIR 16-1-529. VOLUME 2. ELECTROMAGNETIC RADIATION HAZARDS (HAZARDS TO ORDNANCE).

✓ NAVSEA OD 30393. DESIGN PRINCIPLES AND PRACTICES FOR CONTROLLING HAZARDS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION TO ORDNANCE (HERO DESIGN GUIDE).

✓ MIL-HDBK-240. HAZARDS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION TO ORDNANCE (HERO). TEST GUIDE.

HERP (hazardous electromagnetic radiation to personnel)

✓ РД 5Р.8713-93. Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Методы оценки электромагнитных полей и средства защиты личного состава судов от облучения.

✓ РД 5Р.8903-96. Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Порядок выполнения работ по защите личного состава судов от облучения электромагнитными полями.

✓ СанПиН 2.5.2/2.2.4.1989-06.

Электромагнитные поля на плавательных средствах и морских сооружениях. Гигиенические требования безопасности.

✓ ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ.

Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

✓ СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96.

Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).

Под объектом морской инфраструктуры понимают морские суда и морские (подвижные и неподвижные) объекты любого класса, типа и назначения, буровые платформы (плавучие и стационарные), расположенные на морском шельфе, плавучие электростанции, порты, причалы и рейдовые перегрузочные комплексы, нефте- и газопроводы береговой, прибрежной и морской зоны, средства коммуникации и иные технические элементы инфраструктуры, включая все технические средства и объекты различного назначения и имущество физических и юридических лиц, расположенные на них, обслуживающий персонал и другие биологические объекты.

Анализ рисков можно проводить, руководствуясь нормативным документом [25].

Классификацию рисков проводят в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Классификации рисков по частоте и последствиям

Частота	Последствия			
	катастрофические	критические	граничные	незначительные
Частые	I	I	I	II
Вероятные	I	I	II	III
Случайные	I	II	III	III
Редкие	II	III	IV	IV
Невероятные	III	III	IV	IV
Неправдо-подобные	IV	IV	IV	IV

Интерпретацию классов производят по таблице 2.

Таблица 2

Интерпретация классов рисков

Класс риска	Интерпретация
Класс I	Недопустимый риск
Класс II	Нежелательный риск может быть допустим, только если снижение риска невозможно или если затраты на снижение существенно непропорциональны достигаемому улучшению
Класс III	Риск допустим, если цена уменьшения риска превосходит достигаемый выигрыш
Класс IV	Незначительный риск

Критичность риска C рассчитывают как произведение $C = B1 \cdot B2 \cdot B3$, входящие в которое сомножители оценивают в баллах.

Оценку рисков по частоте оценивают по таблице 3.

Оценку последствий рисков оценивают по таблице 4.

Оценку вероятности обнаружения возможного риска до поставки изделия потребителю оценивают по таблице 5.

При проведении анализа интегральной электромагнитной обстановки (ЭМО) и оценки электромагнитной безопасности на объектах морской инфраструктуры (ОМИ) необходимо учитывать, например, для ведения радиосвязи с ОМИ используют вертикальные поляризованные ненаправленные антенны метровых и дециметровых волн. При этом число таких антенн может достигать более десятка при ограниченных возможностях по их размещению. Поэтому большинство из них не может быть размещено выше верхнепалубных надстроек ОМИ и горизонтальное расстояние между антеннами и металлическими элементами верхнепалубной архитектуры часто невелико. По этой причине диаграммы направленности большинства передающих антенн радиосвязи, размещенных на ОМИ значительно отличаются от круговых (рис. 3) [11].

Таблица 3

Оценка рисков по частоте возникновения в баллах

Виды рисков за время эксплуатации	Ожидаемая риски, оцененные расчетом или экспериментальным путем	Оценка риска в баллах B1
Риск практически невероятен	Менее 0,00005	1
Риск маловероятен	От 0,00005 до 0,001	2
Риск имеет малую вероятность, обусловленную только точностью расчета	От 0,001 до 0,005	3
Умеренная вероятность риск	От 0,005 до 0,01	4
Риск возможен, но при испытаниях или в эксплуатации аналогичных изделий не наблюдался	От 0,001 до 0,005	5
Риск возможен, наблюдался при испытаниях и в эксплуатации аналогичных изделий	От 0,001 до 0,005	6
Риск вполне вероятен	От 0,005 до 0,01	7
Высокая вероятность риска	От 0,01 до 0,10	8
Вероятен повторный риск	Более 0,11	10

Таблица 4

Оценка последствий рисков

Описание последствий рисков	Оценка последствий в баллах В2
Риск не приводит к заметным последствиям, потребитель вероятно не обнаружит наличие ущерба	1
Последствия риска незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением	2-3
Риск приводит к заметному для потребителя снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобству применения изделия	4-6
Высокая степень недовольства потребителя, изделие не может быть использовано по назначению, но угрозы безопасности риск не представляет	7-8
Риск представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	9-10

Таблица 5

Оценка вероятности обнаружения возможного риска до поставки изделия потребителю

Виды рисков по вероятности обнаружения до поставки	Вероятность обнаружения риска, оцененная расчетным или экспертным путем	Оценка вероятности в баллах В3
Очень высокая вероятность выявления риска при контроле, сборке, испытаниях	Более 0,95	1
Высокая вероятность выявления риска при контроле, сборке, испытаниях	От 0,95 до 0,85	2-3
Умеренная вероятность выявления риска при контроле, сборке, испытаниях	От 0,85 до 0,45	4-6
Высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	От 0,45 до 0,25	7-8
Очень высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	Менее 0,25	9-10

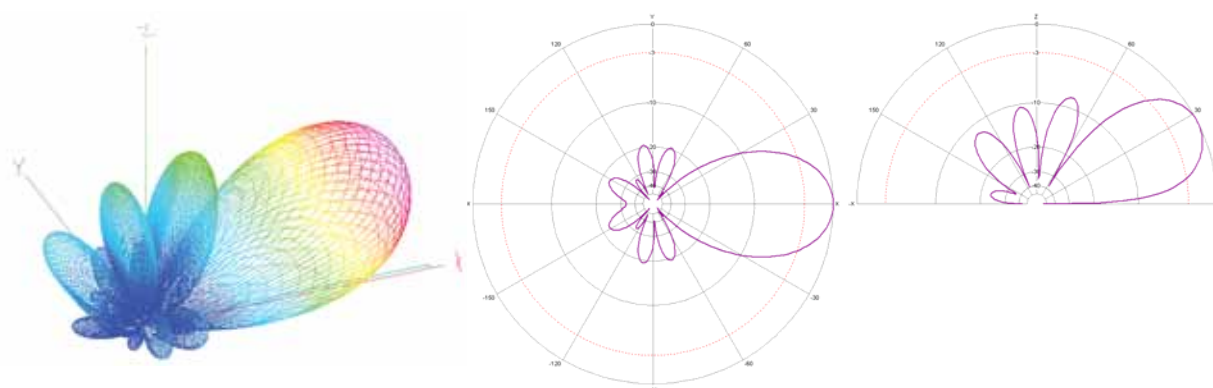


Рис. 3. Эксплуатационные диаграммы направленности антенн передающих радиосвязного профиля с учётом искажения от верхнепалубных надстроек ОМИ

При этом не стоит забывать, что в основном в пределах ОМИ электромагнитное поле (ЭМП) радиопередатчиков окончательно не сформировано и структура электромагнитных волн соответствует ближней зоне излучения, что также усложняет ситуацию. В некоторых случаях это относится и к устройствам радиолокационного профиля. К этому также добавляется то, что помимо основного излучения радиопередатчиков существует наличие внеполосного и побочного излучения (рис. 4), которое также взаимодействует с верхнепалубной архитектурой и усложняет общую ЭМО на ОМИ. Необходимо также не забывать о наличии на ОМИ источников контактных радиопомех, которые в силу своего высокого уровня вносят существенный вклад в общую интегральную ЭМО.

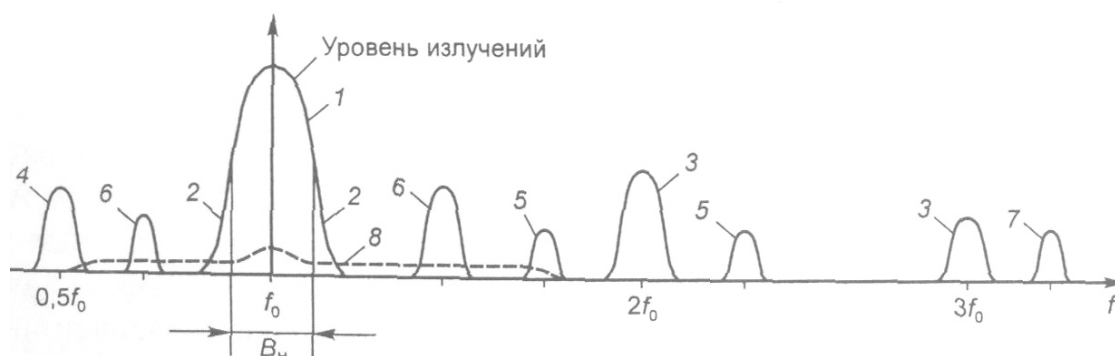


Рис. 4. Спектральная плотность мощности радиоизлучений радиопередатчающего устройства

1 — основного; 2 — внеполосного; 3 — на гармониках; 4 — на субгармониках; 5 — комбинационного; 6 — интермодуляционного; 7 — паразитного; 8 — шумового

Таким образом, актуально создание доступной научно-технической инженерной методики по расчёту электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях при функционировании технических средств радиосвязного и радиолокационного профилей, расположенных на ОМИ, с целью обоснования технических решений по обеспечению электромагнитной безопасности. А также необходима её автома-

тизация для выполнения большого количества и с заданной точностью трудоёмких расчётов различных вариантов размещения антенных устройств и анализ их зависимостей от различных параметров их эксплуатации.

Методика аналитической оценки электромагнитной безопасности при функционировании технических средств радиосвязного и радиолокационного профилей на объектах морской инфраструктуры включает использование следующих исходных данных:

1. Радиочастота электромагнитных волн, излучаемых передающим устройством (основная, внеполосная, на гармониках, на субгармониках, комбинационная, интермодуляционная, паразитная, шумовая): $f_{\text{прд}}$, МГц;
2. Мощность передающего устройства, излу-

чающего электромагнитные волны на рассматриваемой радиочастоте (для основных, боковых, дальних, задних лепестков диаграммы направленности антенны): $P_{\text{прд}}$, Вт;

3. Тип антенны радиопередатчающего устройства;
4. Геометрические размеры антенны радиопередатчающего устройства;
5. Вид поляризации электромагнитных волн, излучаемых передающим устройством: вертикальная, горизонтальная, круговая;
6. Полное сопротивление антенны радиопередатчика $Z_{\text{вх}}$, Ом;
7. Активное сопротивление антенны радиопередатчика $R_{\text{вх}}$, Ом;

8. Коэффициент усиления антенны радиопередатчика для основного, бокового, дальнего и заднего лепестка на рабочих частотах, $G_{\text{прд}}$, в раз;
9. Ширина диаграммы направленности передающей антенны $\Psi_{\text{прд}}$, град;
10. Погонная емкость вертикальной $C_{\text{вер}}$ и горизонтальной $C_{\text{гор}}$ части проволочных (лучевых) антенн радиопередатчика, Ф/м;
11. Тип применяемого кабеля для антенно-фидерного тракта передатчика с указанием следующих параметров:
Диэлектрическая проницаемость изоляции ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$, диаметр внешнего проводника (экрана) D , диаметр внутреннего проводника d , длина применяемого кабеля l ;
12. Угол между линиями, соединяющими расчётную точку в пространстве с концами вертикальной $\gamma_{\text{вер}}$ и горизонтальной $\gamma_{\text{гор}}$ частями проволочной (лучевой) антенны, град;
13. Угол между осью штыревой антенны и линией, соединяющей расчётную точку в пространстве и основание антенны α , град;
14. Вид расположения взаимодействующих антенн и объектов: на одном уровне, на разных уровнях;
15. Процент затенённости препятствиями взаимодействующих антенн и объектов χ , %;
16. Расстояние между взаимодействующими антеннами и объектами r , м.
17. Нестабильность параметров излучающих источников;
18. Изменение количества возможных источников излучения.

Порядок расчёта

1. Частотный анализ

На данном этапе вычисляются возможные частотные каналы влияния при взаимодействии приёмных и передающих устройств.

$$K_{\text{max}} = \frac{f_{\text{max прд}}}{f_{\text{min прм}}}; \quad K_{\text{min}} = \frac{f_{\text{min прд}}}{f_{\text{max прм}}}$$

Если

$K_{\text{max}} > 1; 1 < K_{\text{min}} < 1,3$ внеполосное излучение

$K_{\text{max}} \geq 1; K_{\text{min}} \leq 1$; основное излучение

$0,7 < K_{\text{max}} < 1; 0,5 < K_{\text{min}} < 1,3$ внеполосное излучение

$K_{\text{max}} \geq 0,5; K_{\text{min}} < 0,5$ вторая гармоника

$K_{\text{max}} \geq 0,33; K_{\text{min}} < 0,33$ третья гармоника

$K_{\text{max}} \geq 0,25; K_{\text{min}} < 0,25$ четвертая гармоника

$K_{\text{max}} \geq 0,2; K_{\text{min}} < 0,2$ пятая гармоника

Необходимо учитывать также комбинационные и интермодуляционные частоты от различных источников.

$$f_{m,n} = p \cdot f_m \pm q \cdot f_n$$

2. Энергетический анализ

На данном этапе вычисляются возможные уровни электромагнитных полей в заданной области. При этом для технических средств радиосвязного профиля электромагнитные поля в пределах объекта ОМИ находятся в ближней зоне, что затрудняет их расчёт с помощью классических методик и требует применения аппроксимационных зависимостей, основанных на данных натуральных экспериментов.

В общем случае выражение для электрической составляющей напряженности электромагнитного поля технического средства радиосвязного профиля равна

$$E = \mathfrak{Z}(C_A, Z_A) \times \mathfrak{R}(P_{\text{прд}}, R, f_{\text{прд}}) \times G_{\text{прд}}(f_{\text{прд}}, R) \times \xi_{\text{прд}} \times \eta_{\text{Фпрд}}(l_{\text{прд}}, \epsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прд}}) \times K_3 \times K_\Gamma \times \sin \frac{\alpha}{2}$$

где $\mathfrak{Z}(C_A, Z_A)$ – выражение, зависящее от погонных емкостей и входных сопротивлений антенны радиопередающего устройства;

$$\mathfrak{R}(P_{\text{прд}}, R, f) = Q_1(P, f) \times R^{-6} + Q_2(P, f) \times R^{-5} + Q_3(P, f) \times R^{-4} + Q_4(P, f) \times R^{-3} + Q_5(P, f) \times R^{-2} + Q_6(P, f) \times R^{-1}$$

$Q_1 \div Q_6$ – коэффициенты аппроксимации полинома,

R – расстояние между антенной и анализируемой точкой пространства,

P – мощность передатчика,
 f – радиочастота передатчика,

$$G_{\text{прд}}(f_{\text{прд}}, R) = G_0(0,7 + 0,3e^{-0,6\frac{\Delta f}{f_0}}) - 15e^{-4\frac{R}{R_{\text{дз}}}}$$

G_0 – коэффициент антенны передатчика по техническим условиям;

Δf – отстройка по частоте от номинальной;

$R_{\text{дз}}$ – граница дальней зоны для данной радиочастоты;

$$\eta_{\text{Фпрд}}(l_{\text{прд}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прд}}) = e^{-2l(2,62 \cdot 10^3 \sqrt{\varepsilon} f (1+D/d)/D \lg(D/d)) + (9,1 \cdot 10^3 f \sqrt{\varepsilon} \text{tg}(\delta))}$$

K_3 – коэффициент, учитывающий затенение препятствиями между взаимодействующими антеннами;

K_r – коэффициент, учитывающий уменьшение уровня сигнала на гармонических составляющих.

Расчет уровня плотности потока мощности электромагнитного поля технического средства радиолокационного профиля определяется по формуле:

$$W = \frac{P_a \cdot \eta_a \cdot G_a \cdot \xi_a \cdot \lambda_a^2 \cdot \varepsilon_a \cdot K_3 \cdot K_r}{(4\pi R)^2}$$

где P_a – мощность излучения радиопередатчика, Вт,

η_a – коэффициент полезного действия антенно-фидерного тракта на передачу,

G_a – коэффициент усиления (КУ) антенны на передачу,

ξ_a – уровень боковых лепестков ДНА на передачу,

λ_a – длина волны радиопередатчика, м,

ε_a – коэффициент, учитывающий уменьшение КУ за счет изменения формы диаграммы направленности радиопередатчика антенны в ближней зоне,

K_3 – коэффициент, учитывающий ослабление уровня мощности НРП за счет затенений антенн верхнепалубными надстройками,

R – расстояние между радиопередаточной и радиоприемной антеннами, м,

K_r – коэффициент, учитывающий ослабление мощности излучения гармонических составляющих по отношению к мощности основного излучения.

При этом следует ввести понятие частотно-локально-интегрального поля, под которым понимается поле, создаваемое источниками излучения, частоты которых не выходят за диапазоны, устанавливаемые при нормировании излучений в нормативных документах, касающихся всех аспектов электромагнитной безопасности.

Локально-интегральное поле будет равно

Для технических средств радиосвязного профиля

$$E_{\text{лок-инт.}} = \sqrt{\sum_i^N E_{\text{локи}}^2}$$

Для технических средств радиолокационного профиля

$$W_{\text{лок-инт.}} = \sqrt{\sum_i^N W_{\text{локи}}^2}$$

3. Уровень наводимых напряжений

На данном этапе рассчитывается уровень наводимых напряжений на проводящих конструкциях, либо на антеннах радиоприемных устройств ответственного оборудования устройства, учитывающий распространение сигнала по антенно-фидерному тракту

$$U = E \times ((\lambda / \pi) \sqrt{G_{\text{прм}} R_A / 73,1}) \times K_{\Pi} \times \eta_{\text{Фпрм}}(l_{\text{прм}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прм}})$$

где λ – длина волны принимаемых радиоволн;

K_{Π} – коэффициент, учитывающий разную рабочую поляризацию для взаимодействующих приемной и передающей антенны.

$$\eta_{\text{Фпрм}}(l_{\text{прм}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прм}}) = e^{-2l(2,62 \cdot 10^3 \sqrt{\varepsilon} f (1+D/d)/D \lg(D/d)) + (9,1 \cdot 10^3 f \sqrt{\varepsilon} \text{tg}(\delta))}$$

4. Оценка вероятности возникновения недопустимых рисков

Для электрической составляющей напряжённости электромагнитного поля, при допущении его нормального закона распределения в силу большого количества факторов и источников, будет равна

$$P_{\text{лок.-инт.гр.}}(E_{\text{ср.кв}} > E_{\text{норм}}) = \int_{E_{\text{норм}}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_E \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E-E_0)^2}{2\sigma_E^2}} dE$$

где $E_{\text{норм}}$ – норматив излучения для данной частоты,

E_0 – математическое ожидание величины напряжённости,

дисперсия электромагнитного поля будет зависеть от нескольких факторов

$$\sigma_E = 1,1 \cdot \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_G^2 + \sigma_3^2}$$

где σ_P – среднее квадратическое отклонение (нестабильность) мощности излучения данного канала;

σ_0 – среднее квадратическое отклонение (нестабильность) коэффициента усиления данного источника излучения;

σ_3 – среднее квадратическое отклонение (нестабильность) затенения между рассматриваемыми объектами.

Для плотности потока мощности электромагнитного поля, при допущении его нормального закона распределения в силу большого количества факторов и источников, будет равна

$$P_{\text{лок.-инт.гр.}}(W_{\text{ср.кв}} > W_{\text{норм}}) = \int_{W_{\text{норм}}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_W \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(W-W_0)^2}{2\sigma_W^2}} dW$$

где $W_{\text{норм}}$ – норматив излучения для данной частоты,

W_0 – математическое ожидание величины плотности потока мощности,

дисперсия электромагнитного поля будет зависеть от нескольких факторов

$$\sigma_W = 1,1 \cdot \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_G^2 + \sigma_3^2}$$

где σ_P – среднее квадратическое отклонение (нестабильность) мощности излучения данного канала;

σ_0 – среднее квадратическое отклонение (нестабильность) коэффициента усиления данного источника излучения;

σ_3 – среднее квадратическое отклонение (нестабильность) затенения между рассматриваемыми объектами.

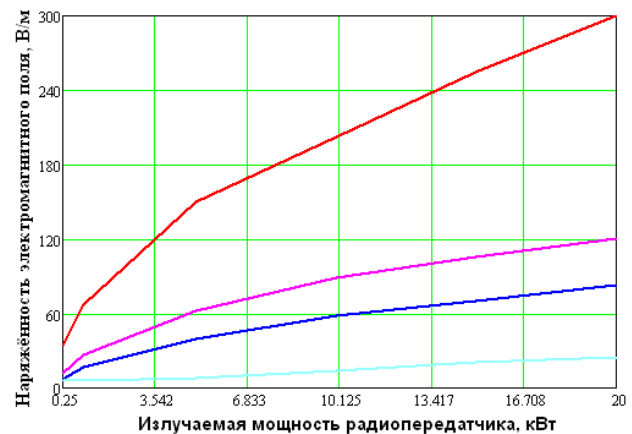


Рис. 5. Зависимость уровня электромагнитного поля от мощности радиопередающего устройства при различных расстояниях от излучающей антенны

Для напряжения наведённого электромагнитным полем, при допущении его нормального закона распределения в силу большого количества факторов и источников, оценка вероятности недопустимого риска будет равна

$$P_{\text{лок.-инт.гр.}}(U_{\text{ср.кв}} > U_{\text{норм}}) = \int_{U_{\text{норм}}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(U-U_0)^2}{2\sigma_U^2}} dU$$

где $U_{\text{норм}}$ – норматив наводимого напряжения для данной частоты, U_0 – математическое ожидание величины напряжения, дисперсия напряжения будет зависеть от нескольких факторов

$$\sigma_U = 1,1 \cdot \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_G^2 + \sigma_3^2 + \sigma_{II}^2}$$

где σ_P – среднеквадратическое отклонение (нестабильность) мощности излучения данного канала; σ_G – дисперсия (нестабильность) коэффициента усиления данного источника излучения;

σ_3 – среднеквадратическое отклонение (нестабильность) затенения между рассматриваемыми объектами,

σ_{II} – среднеквадратическое отклонение (нестабильность) поляризации внешнего электромагнитного поля.

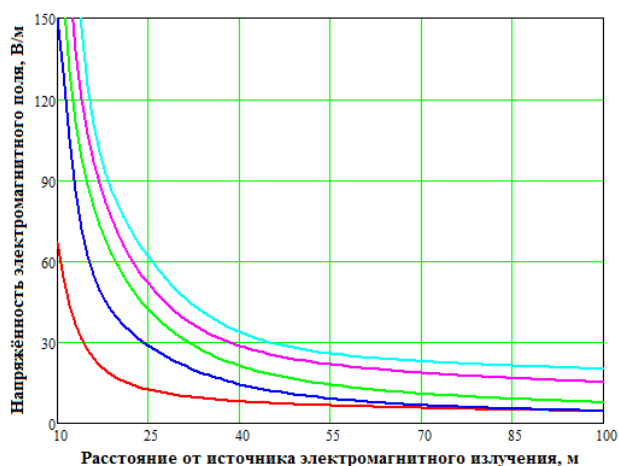


Рис. 6. Зависимость уровня электромагнитного поля от расстояния до излучающей антенны при различных мощностях радиопередающего устройства

Оценка рисков общего интегрального поля, образованного различными группами источников излучений, попадающих по своим частотным диапазонам в разные нормативные диапазоны при нормировании их в нормативной документации будет равна

$$P_{\text{итт.поле}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N P_{\text{лок-итт.зрi}}^2}}{\sqrt{N}}$$

На основе разработанной методики были рассчитаны графические зависимости уровня излучаемых электромагнитных полей и уров-

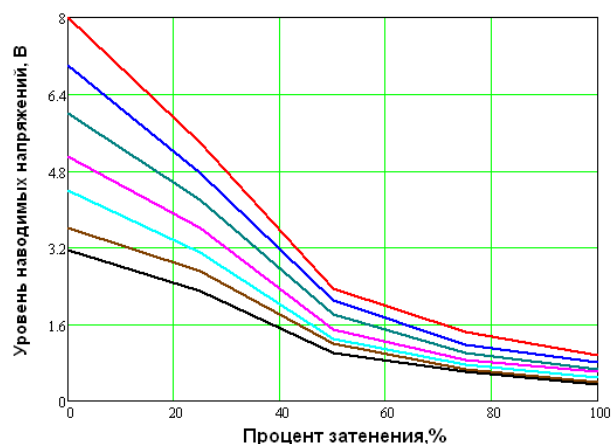


Рис. 7. Зависимость уровня наводимых напряжений от процента затенённости препятствиями между излучающей антенной и исследуемой контрольной точкой для различных значений мощности радиопередающего устройства

ней наводимых напряжений на проводящих конструкциях от различных параметров (рис. 5÷7).

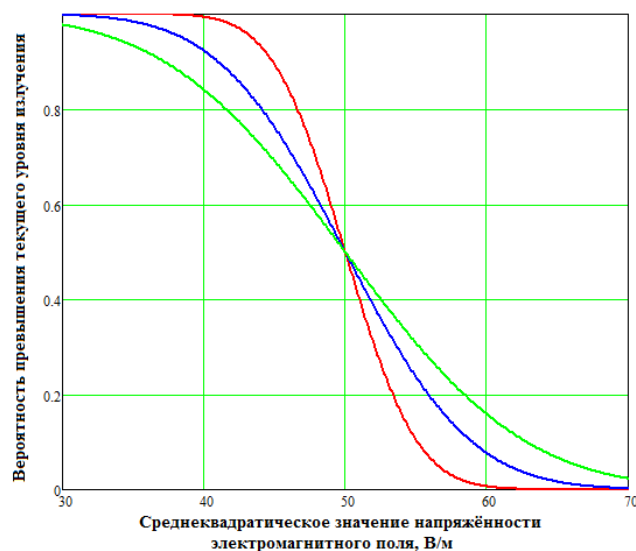


Рис. 8. Оценка рисков при облучении электромагнитным полем с различной дисперсией

В качестве примера на рис. 8 приведена оценка возможных рисков при облучении электромагнитным полем со средним значени-

ем 50 В/м и различной дисперсии некоторого объекта, который может являться любым по отношению к направлениям электромагнитной безопасности.

На основе разработанной методики оценки электромагнитной безопасности при функционировании технических средств радиосвязного и радиолокационного профилей был сформирован алгоритм функционирования её программной реализации.

На рисунке 9 показан укрупнённый алгоритм функционирования программы оценки электромагнитной безопасности при эксплуатации технических средств радиосвязного профиля и радиолокационного профилей, в котором можно выделить последовательность и основные этапы расчёта.

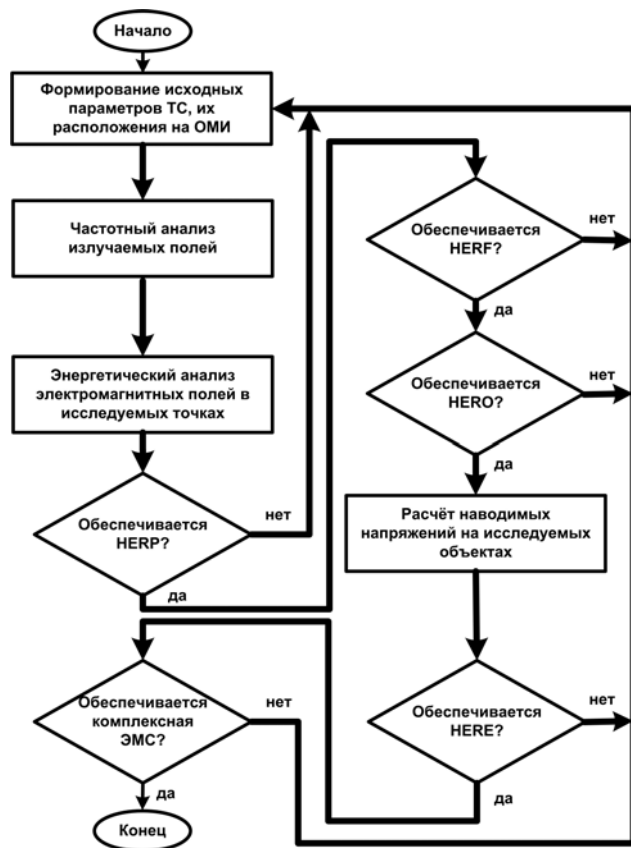


Рис. 9. Укрупнённая структура алгоритма программной реализации методики оценки электромагнитной безопасности при функционировании технических средств

В соответствии с сформированным алгоритмом был разработан программный комплекс расчётной оценки электромагнитной безопасности на объектах морской инфраструктуры при функционировании технических средств радиосвязного и радиолокационного профилей.

На рисунке 10 представлен внешний вид программы, при этом её внешний вид разработан таким образом, что при вводе и формировании базы данных параметров РЭС пользователь заполняет те же графы, что и при заполнении Формы №1 Государственного комитета по распределению радиочастот. Наличие документов на РЭС любого профиля по данной форме является обязательным для всех РЭС, продаваемых, либо эксплуатируемых на территории Российской Федерации. При этом один раз введённые данные по РЭС в базу данных сохраняются, и в дальнейшем, при необходимости, возможно их модифицировать или дополнять.

В качестве примера расчёта с помощью разработанной программы был взят проект корабля, имеющего несколько радиосвязных и радиолокационных излучающих антенн. Контрольные точки для которых проводилась оценка электромагнитной безопасности в отношении персонала представлены красными флажками (рис. 3.3). В ходе проводимого расчёта строилась матрица рисков, представляющая собой оценку парного взаимодействия одного источника и одного рецептора электромагнитного поля и дающая парциальные вероятности возникновения рисков. Оценка рисков указанных контрольных точек в отношении общего интегрального поля представлена на рис. 3.7.

На рис. 11 представлен внешний вид задания тестовой модели объекта морской инфраструктуры с функционирующими антенными постами технических средств радиосвязного и радиолокационного профиля и расположенными на нём контрольными точками для анализа электромагнитной безопасности.

Оценка электромагнитной безопасности на объектах морской инфраструктуры

Программа Проведение оценки Графические зависимости Справка

Добавить РЭС Редактировать РЭС Удалить РЭС

Общие характеристики РЭС | Характеристики передатчика | Характеристики приёмника | Характеристики антенны

Тактико-технические данные

01 02 Код: 1.2. Наименование РЭС:

(Рег. № решения, дата) 1.1. Шифр РЭС: Тестовая РЭС №1: Несекретно

(Номер РЧЗ, дата) 1.3. Тип РЭС: РЭС радиолокационные 1.4. Место установки РЭС: Подвижная

1.5. Назначение РЭС: Обнаружение воздушных целей

1.6. Район использования: Балтийское море 1.7. Пользователь РЭС:

1.8. Система (комплекс), в кот. входит РЭС: 1.9. Необходимость регистрации в МСЭ нет

2. Полосы частот (ПлЧ)

	ПРД/ПРМ	№ устр-ва	№ ПлЧ	Мин. частот	Макс. частот	Разм-ть
1	ПРД	1	1	1700	2600	МГц
2	ПРМ	2	1	1700	2600	МГц

3. Состав и ТТХ

	№ реж.	Краткая хар-ка реж.	№ ПлЧ	№ эл. РЭС
1	1	Импульсные ЛЧМ сигналы	1	1,2

⏪ ⏩ ⏴ ⏵ ⏶ ⏷ ⏸ ⏹ ⏺

Рис. 10. Внешний вид программы расчёта при отображении параметров РЭС

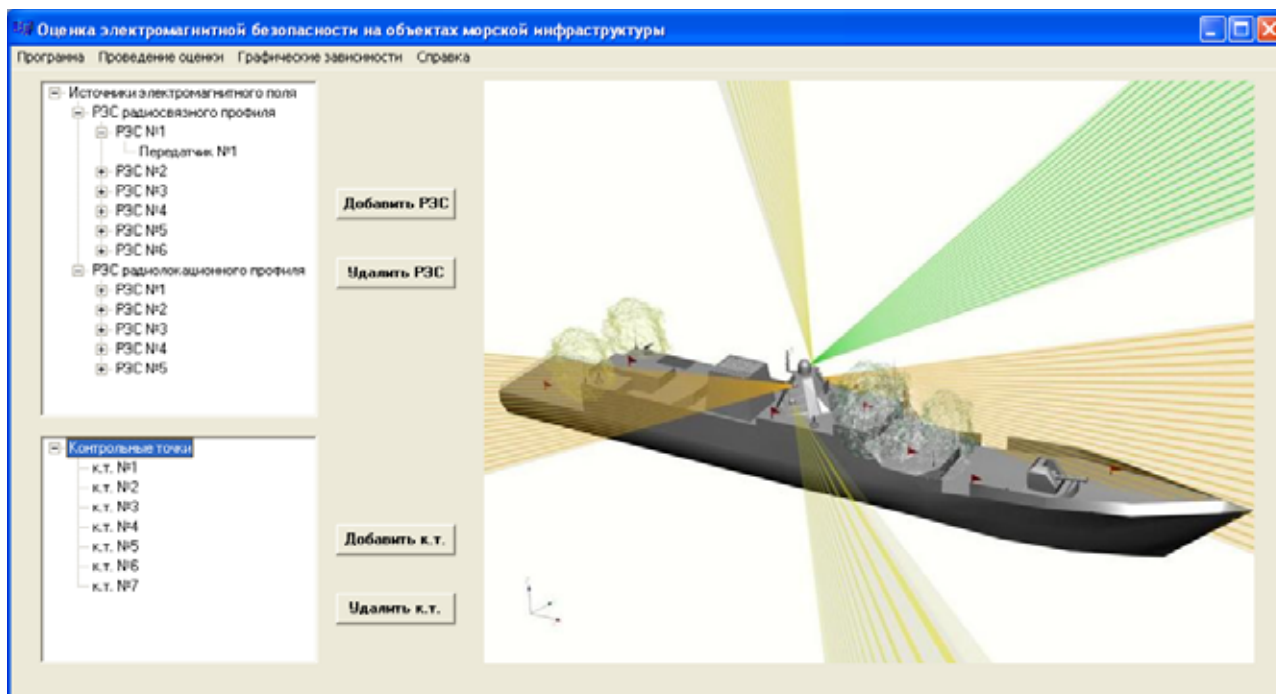


Рис. 11. Внешний вид программы задания функционирующих РЭС и контрольных точек на тестовой модели объекта морской инфраструктуры

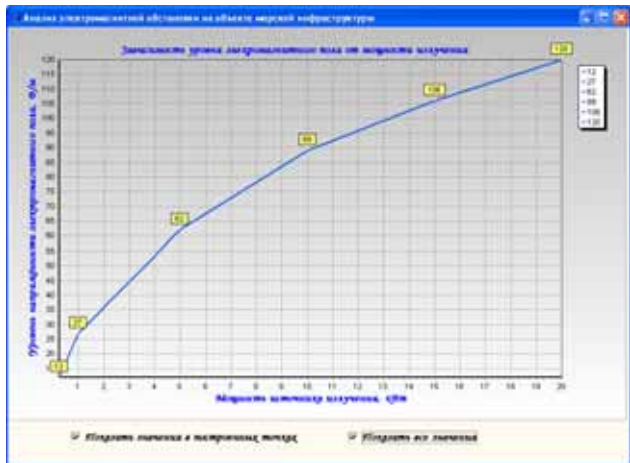


Рис. 12. Результаты расчёта уровня электромагнитного поля от значения мощности источника при фиксированном расстоянии от него



Рис. 13. Результаты расчёта зависимости уровня наведённого напряжения от процента затенения между излучающей антенной и контрольной точкой при фиксированной мощности излучения и расстоянии до него

Матрица рисков объекта морской инфраструктуры

РЭС/к.т.	к.т. №1	к.т. №2	к.т. №3	к.т. №4	к.т. №5	к.т. №6	к.т. №7
РЭС №1	0,0122	0,0355	0,0509	0,0434	0,0125	0,0001	0,0001
РЭС №2	0,0131	0,0337	0,0512	0,0462	0,0131	0,0001	0,0001
РЭС №3	0,0115	0,0246	0,0446	0,0612	0,0321	0,0001	0,0001
РЭС №4	0,0105	0,0233	0,0465	0,0617	0,0115	0,0001	0,0001
РЭС №5	0,0012	0,0082	0,0082	0,0135	0,1372	0,0001	0,0001
РЭС №6	0,0026	0,0014	0,0016	0,0141	0,0001	0,0001	0,0001
РЭС №7	0,0012	0,0081	0,0084	0,0136	0,1348	0,0001	0,0001
РЭС №8	0,0028	0,0016	0,0017	0,015	0,0001	0,0001	0,0001
РЭС №9	0,0131	0,0153	0,0181	0,0247	0,0566	0,0282	0,0157
РЭС №10	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0491	0,0341
РЭС №11	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0486	0,0352

Рис. 14. Результаты расчёта матрицы рисков для рассматриваемой модели взаимодействия на морском объекте



Рис. 15. Оценка рисков в контрольных точках морского объекта при действии интегрального электромагнитного поля

На рисунках 12-13 представлены результаты расчёта данной программы по разработанному алгоритму уровней электромагнитного поля и наведённых напряжений от разных параметров.

На рисунке 14 представлена рассчитанная матрица рисков для рассматриваемого объекта морской инфраструктуры, которая представляет собой матрицу рисков при парном влияния функционирующего источника электромагнитного поля на контрольную точку.

На рис. 15 представлены результаты расчёта рисков при наличии интегрального поля в контрольных точках морского объекта при оценке электромагнитной безопасности на его персонал.

На рис. 16 представлены результаты расчёта рисков при функционировании источника с нормальным законом распределения излучаемого электромагнитного поля со средним значением 50 В/м и среднеквадратическим отклонением 10 В/м.

Таким образом, разработанная программно-алгоритмическая реализация научно-технической методики по оценке электромагнит-

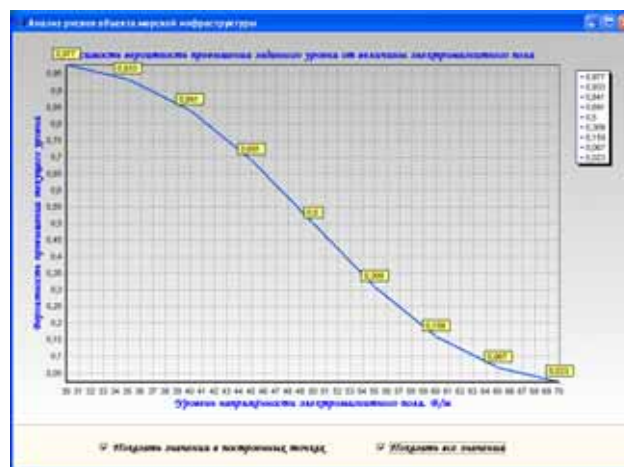


Рис. 16. Оценка рисков при нормальном законе распределения излучаемого электромагнитного поля

ной безопасности на объектах морской инфраструктуры позволяет проводить расчёт рисков при функционировании технических средств радиосвязного и радиолокационного профилей с наглядным отображением результатов в виде графиков и диаграмм по интересующим параметрам.

Список литературы

1. <http://www.scaegroup.com/dev.php>.
2. <http://www.ksri.ru/rus/ins/struct/physic.htm>.
3. <http://www.feko.info/industries/naval>.
4. Банков С.Е., Курушин А.А. Система 3D электромагнитного моделирования FEKO // EDA Express, №7, 1994. – М.: Родник Софт, 1994.
5. Якобус У. Новый метод FEKO MLFMM СВЧ-анализа крупногабаритных объектов // EDA Express, №12, 2005. – М.: Родник Софт, 2005. – С. 20-23.
6. http://www.idscorporation.com/page.php?f=176&id_div=2.
7. <http://www.gemac.com/Software/index.html>.
8. www.emcos.com.
9. Жобава Р.Г. Адаптивная схема Метода Моментов в применении к задачам электромагнитной совместимости // EDA Express, №12, 2005. – М.: Родник Софт, 2005. – С. 14-19.
10. <http://emclab.mst.edu/csoft.html>.
11. Лазарев Д.В. Совершенствование прогнозирования электромагнитной обстановки на технических объектах морского базирования за счёт учёта влияния переизлучающих элементов и структур // Морской вестник №3 (35), Спб: Мор Вест, 2010. – С. 31-38.
12. Лазарев Д.В. Автоматизация управления параметрами электромагнитных полей в условиях корабля в интересах обеспечения электромагнитной совместимости его радиоэлектронных средств // Морской вестник №4 (36), Спб: Мор Вест, 2010. – С. 19-28.
13. Конституция Российской Федерации.
14. Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании».
15. Федеральный закон – Общий технический регламент «Об электромагнитной совместимости».
16. Федеральный закон – Общий технический регламент «О безопасности объектов морского транспорта».
17. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам.
18. NAVSEA OP 3565/NAVAIR 16-1-529. VOLUME 2. ELECTROMAGNETIC RADIATION HAZARDS (HAZARDS TO ORDNANCE).
19. NAVSEA OD 30393. DESIGN PRINCIPLES AND PRACTICES FOR CONTROLLING HAZARDS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION TO ORDNANCE (HERO DESIGN GUIDE).
20. MIL-HDBK-240. HAZARDS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION TO ORDNANCE (HERO). TEST GUIDE.
21. ОСТ 5P.6186-2005. Нефтеналивные суда и нефтепричалы. Электростатическая и гальваническая искробезопасность. Общие технические требования.
22. ОСТ 5P.6172-80. Электромонтаж на судах. Прокладка кабеля и кабельных трасс в топливных (масляных) цистернах и взрывоопасных помещениях. Технические требования и правила монтажа.
23. NAVSEA OP 3565/NAVAIR 16-1-529. VOLUME 1. ELECTROMAGNETIC RADIATION HAZARDS (HAZARDS TO PERSONNEL, FUEL AND OTHER FLAMMABLE MATERIAL).
24. ГОСТ Р 51317.1.2-2007. Совместимость технических средств электромагнитная. Методология обеспечения функциональной безопасности технических средств в отношении электромагнитных помех.

25. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам.
26. ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования.
27. ГОСТ Р 54102-2010. Совместимость технических средств электромагнитная. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов при воздействии электромагнитных помех. Требования и методы испытаний.
28. ГОСТ Р 51317.1.5-2009. Совместимость технических средств электромагнитная. Воздействия электромагнитные большой мощности на системы гражданского назначения. Основные положения.
29. РД 5Р.8713-93. Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Методы оценки электромагнитных полей и средства защиты личного состава судов от облучения.
30. РД 5Р.8903-96. Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Порядок выполнения работ по защите личного состава судов от облучения электромагнитными полями.
31. СанПиН 2.5.2/2.2.4.1989-06. Электромагнитные поля на плавательных средствах и морских сооружениях. Гигиенические требования безопасности.
32. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
33. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).