

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ

DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-387-143-154
УДК 537.8:629.5

А.М. Вишневский, Б.Н. Городецкий
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МОРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Объект и цель научной работы. В работе рассматриваются вопросы электромагнитной безопасности морских технических объектов, к которым относятся корабли, суда и другие плавучие объекты. Целью работы является разработка методологии обеспечения их электромагнитной безопасности в условиях штатного функционирования.

Материалы и методы. Обоснование технологии обеспечения электромагнитной безопасности производится на основе рассмотрения современных кораблей как наиболее сложных морских технических объектов. При этом показано, что для реализации разработанных технологий предпочтительными являются экспериментальные методы производимых оценок, поскольку эти методы позволяют учесть реальные схемные, конструктивные и другие особенности корабельных технических средств и корабельных конструкций.

Основные результаты. Показано, что рассмотрение корабля, поставляемых на него технических средств и личного состава как единой интегрированной системы позволяет в рамках единой методологии защиты от внутрисистемных и внесистемных внешних воздействий обеспечить электромагнитную безопасность корабля. Разработана технология обеспечения электромагнитной совместимости технических средств современных кораблей и их защиты от мощных внешних электромагнитных воздействий, а также обеспечения безопасности личного состава. Технология основана на научно-техническом сопровождении работ по проблеме в течение всего жизненного цикла корабля, включающего его проектирование, постройку, разработку и поставку оборудования, сдаточные испытания и эксплуатацию. Обоснована концепция создания и параметры оборудования специализированной испытательной экспериментальной базы, предназначенной для практической реализации разработанной технологии.

Заключение. Разработанная технология обеспечения электромагнитной безопасности кораблей позволяет в обоснованных случаях отказаться от безусловного жесткого нормирования электромагнитных параметров поставляемого на корабль оборудования за счет рационального сочетания комплекса защитных средств и мероприятий, разрабатываемых и внедряемых разработчиками технических средств и ЦКБ-проектантами кораблей. Рассмотренное в рамках созданной концепции экспериментальное оборудование дает возможность проводить испытания аппаратурных комплексов вместе с кабельными и проводными связями в лабораторных и натурных корабельных условиях, а также на стендах разработчиков аппаратуры и, кроме этого, оценивать эффективность и достаточность реализованного комплекса защитных средств и мероприятий. Испытательное оборудование обеспечивает имитацию основных видов мощных внешних преднамеренных электромагнитных воздействий поражающего характера различной физической природы, включая ядерно-физические источники излучения.

Ключевые слова: электромагнитные воздействия, электромагнитная безопасность, морской технический объект, технические средства, электромагнитная совместимость, безопасность личного состава, экспериментальная испытательная база, испытательное оборудование.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

SHIP SIGNATURES

DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-387-143-154
UDC 537.8:629.5

Для цитирования: Вишневский А.М., Городецкий Б.Н. Проблема обеспечения электромагнитной безопасности современных морских технических объектов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019; 1(387): 143–154.

For citations: Vishnevsky A., Gorodetsky B. Electromagnetic safety of modern marine facilities. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2019; 1(387): 143–154 (in Russian).

A. Vishnevsky, B. Gorodetsky
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

ELECTROMAGNETIC SAFETY OF MODERN MARINE FACILITIES

Object and purpose of research. This paper discusses electromagnetic safety of various marine facilities (ships, vessels, floating structures, etc.). The purpose of this study is to develop methodology for ensuring their electromagnetic safety in standard operational conditions.

Materials and methods. Electromagnetic safety technology suggested in this paper is justified by investigation of modern ships as the most complex marine technical objects. This study shows that suggested technologies are preferable to implement by means of experimental assessment methods, because these methods take into account real configuration, structure and other specifics of ship equipment and structures.

Main results. This study shows that investigation of ship, its equipment and complement as a single integrated system makes it possible to ensure electromagnetic safety of ship against internal and external effects, within the framework of unified protection methodology. The technology suggested in this paper ensures electromagnetic compatibility of equipment aboard modern ships, as well as protects them and their crews against strong electromagnetic attacks. This technology is based on scientific & technical support of activities in this field over the whole life cycle of ship, including design, construction, development and delivery of equipment, acceptance testing and operation. The paper also justifies development concept and performance parameters of special test facilities intended for practical implementation of this technology.

Conclusion. Technology of electromagnetic safety aboard ships suggested in this paper makes it possible, in certain verified cases, to do without unconditional strict requirements to the equipment delivered to the ship, by means of optimal combination of protective tools and measures developed and implemented by designers of ship and her equipment. Test equipment developed under this concept makes it possible to test equipment together with its cables and wiring in laboratory and real conditions, as well as at the test beds of equipment developers and, apart from it, assess efficiency and sufficiency of implemented protective measures and tools. Test equipment reliably simulates main types of strong electromagnetic attacks of various physical natures, including electromagnetic pulses of nuclear explosions.

Keywords: electromagnetic effects, electromagnetic safety, marine technical object, equipment, electromagnetic compatibility, crew safety, test facilities, test equipment.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

Обеспечение безопасности морских технических объектов, к которым относятся корабли, суда, морские платформы и другие объекты, является одной из основных задач, стоящих перед судостроительной отраслью. При этом в РФ в соответствии с Федеральным законом о техническом регулировании № 184-ФЗ (Гл. 2, ст. 7), введенным в действие в 2002 г., в числе основных факторов безопасности промышленных объектов указаны безопасность электромагнитных излучений, биологическая безопасность и электромагнитная совместимость (ЭМС) приборов и оборудования.

В дальнейшем под техническими средствами (ТС) мы будем понимать все поставляемое на корабли оборудование: радиоэлектронную аппаратуру, системы навигации, электрооборудование, автоматизированные системы управления и другие специальные технические средства, а вопросы обеспечения ЭМС морских технических объектов рассмотрим на примере кораблей, как наиболее сложных объектов в плане их насыщения ТС.

В соответствии с существующей терминологией ЭМС технических средств понимается (ГОСТ 303372-95) способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых помех другим ТС. Из этого следует, что одним из основных параметров объекта применительно к задаче обеспечения ЭМС является электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной пространственной области, частотном и временном диапазонах. Таким образом, ключевой этап решения проблемы состоит в определении электромагнитной обстановки в корабельных помещениях в местах размещения корабельных ТС и личного состава и, значит, в оценке уровней непосредственно воздействующих на них полей. Полученная таким путем информация о пространственных амплитудно-временных и спектральных распределениях характеристик воздействующих электромагнитных полей позволяет обоснованно подойти к решению вопроса о рациональном выборе меро-

приятый и комплекса средств защиты ТС и личного состава [1].

До последних десятилетий основным путем обеспечения ЭМС корабельного оборудования являлось применение компонентов, которые обладают внутренней устойчивостью к воздействию электромагнитных помех, создаваемых основными корабельными источниками. Преимущественно использовались электромеханические счетно-решающие устройства и релейная техника. У этих компонентов уровни помехочувствительности были достаточно низкими, что позволяло обеспечить их штатное функционирование при электромагнитных воздействиях, обусловленных типовой помеховой обстановкой. При этом проблема ЭМС решалась, как правило, только рациональным выбором рабочих частот средств радиосвязи и радиолокации, рациональным размещением антенн, а также защитой радиоприема от помех. Разработка мероприятий по обеспечению ЭМС требовалась для ограниченного числа помещений и, в первую очередь, для радиорубки и антенно-фидерного тракта.

Применение средств микроэлектроники и цифровых информационных технологий на кораблях последних поколений позволило радикально улучшить тактико-технические характеристики корабельных ТС. При этом, вследствие их дополнительной миниатюризации, появилась возможность установки дополнительного оборудования, обеспечивающего повышение эффективности аппаратурных комплексов, уменьшения водоизмещения кораблей без потери основных тактико-технических характеристик, а также повышения эффективности ТС судов, морских добычных сооружений и других объектов морской техники.

Оборотной стороной данных процессов стало резкое обострение проблемы обеспечения на кораблях и судах ЭМС ТС вследствие существенно ухудшения на них общей помеховой обстановки. Указанное обстоятельство обусловлено тем, что высокочувствительное радиоэлектронное оборудование, работающее в широком диапазоне частот, интегрируется в сложные аппаратурные комплексы, располагающиеся в предельно ограниченном пространстве в непосредственной близости от оборудования и кабельных трасс электроэнергетической системы, а также от потребителей электроэнергии, из которых более трети – нелинейные, генерирующие помехи в широком диапазоне частот. Дополнительные трудности в обеспечении ЭМС появились на кораблях последних поколений в связи с ростом их энергонасыщенности, наличи-

ем мощных импульсных источников электропитания, а также широким использованием в поставляемом оборудовании постоянно обновляемой элементной базы зарубежных и импортозамещающих комплектующих и кабелей, для которых отсутствует отечественный опыт их практического применения в судостроении.

Ситуацию с обеспечением стойкости корабельных ТС при электромагнитных воздействиях еще более обострило появление в последние десятилетия специальных генераторов мощного преднамеренного электромагнитного излучения поражающего действия. Характерной особенностью данного типа источников излучения является то, что амплитудно-временные и частотные параметры их излучения априори неизвестны. Эти параметры формируются исходя из обеспечения максимального поражающего эффекта при решении конкретной задачи с учетом особенностей объекта поражения. Последнее обстоятельство принципиально отличает указанный вид воздействия от других техногенных помехонесущих полей, для которых параметры воздействий могут быть предварительно определены на основе анализа характеристик основных видов источников помехонесущих полей. Кроме этого, контролируемые параметры ЭМС по помехоэмиссии и помехоустойчивости ТС как в РФ, так и за рубежом, задаются соответствующими нормативными документами, а допустимые уровни и параметры электромагнитных воздействий, обусловленных функционированием ТС, определяются в местах размещения личного состава соответствующими санитарно-гигиеническими нормами.

Стоит отметить, что преднамеренные электромагнитные воздействия могут оказывать поражающее действие на значительных расстояниях, распространяясь практически со скоростью света, не оставляя следов, что позволяет эффективно использовать их в военных и террористических целях для поражения как ТС, так и личного состава кораблей. Из этого следует, что защита от преднамеренных поражающих электромагнитных воздействий является самостоятельной чрезвычайно важной и актуальной научно-технической проблемой, требующей незамедлительного решения.

Указанные причины привели к тому, что проблемы ЭМС и стойкости ТС при мощных внешних воздействиях начали сказываться на сроках сдачи кораблей последних проектов и на эффективности работы всей судостроительной отрасли. В этой связи переход к созданию кораблей нового поколения потребовал пересмотра концепции и методов

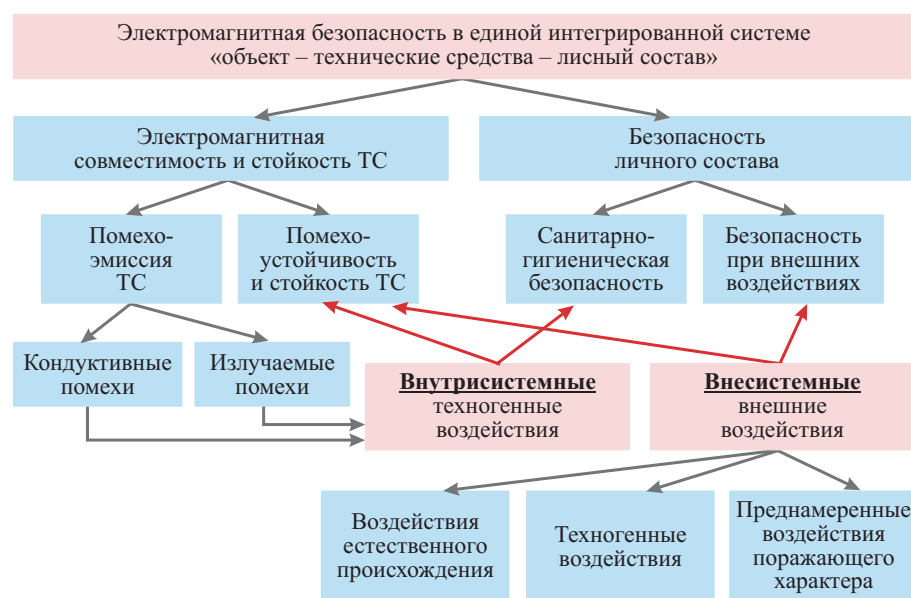


Рис. 1. Факторы, определяющие основные направления обеспечения электромагнитной безопасности современных кораблей

Fig. 1. Factors that determine main directions in electromagnetic safety of modern ships

обеспечения их электромагнитной безопасности, учитывающей эволюцию корабельных ТС и появление новых источников поражающего электромагнитного излучения.

Анализ существовавшей практики обеспечения ЭМС в отечественном и зарубежном кораблестроении показал, что проблема ЭМС решается предъявлением жестких единых требований по параметрам ЭМС ко всему поставляемому на корабли оборудованию. Однако обеспечение параметров ЭМС корабельных ТС, отвечающих этим требованиям, приводит к существенному усложнению и удорожанию оборудования, а в некоторых случаях – к невозможности создания ТС, удовлетворяющих столь жестким требованиям по ЭМС [2].

Вместе с тем нет полной гарантии, что поставляемые ТС будут эффективно функционировать в конкретных условиях каждого корабельного помещения, поскольку эти системы, как правило, представляют собой сложные многоблочные изделия, имеющие протяженные соединительные кабельные трассы. Это обстоятельство не позволяет проводить комплексные испытания ТС в испытательных центрах ЭМС, где габариты стендов ограничены. Кроме этого, стендовые испытания не учитывают влияние корабельных корпусных конструкций, реальных кабельных трасс и схемы размещения ТС в пределах корабля.

Выполненный анализ показал, что реализация официально принятого за рубежом подхода к решению проблемы ЭМС в отечественном кораблестроении

приведет к существенному росту затрат, выходящему за рамки выделяемых для кораблестроения объемов финансирования. При этом, как уже отмечалось, комплексное решение проблемы ЭМС на кораблях принципиально не гарантируется.

Указанные обстоятельства потребовали для решения проблемы ЭМС современных и перспективных кораблей России найти иной, в определенном смысле асимметричный путь, отличающийся от принятого в зарубежном кораблестроении и эффективно реализуемый в условиях реальных финансовых возможностей на настоящем этапе развития отечественного кораблестроения.

Проведенное в ходе выполнения во ФГУП «Крыловский государственный научный центр» тематических научно-исследовательских работ рассмотрение объекта, его технических средств и личного состава как единой интегрированной системы (рис. 1) и механизмов формирования внешних поражающих воздействий показало, что для решения проблемы обеспечения электромагнитной безопасности современных кораблей они должны быть защищены от внутрисистемных и внесистемных внешних воздействий. При этом к внесистемным электромагнитным воздействиям естественного происхождения относятся молния, электростатические разряды и пр., а к воздействиям искусственного техногенного происхождения кроме наиболее опасных преднамеренных воздействий – излучение «чужих» радиолокационных станций, ЛЭП и других внешних объектов.

Отметим, что такой подход позволил решить задачи обеспечения ЭМС ТС кораблей и безопасности личного состава на единой научно-методической основе, разработать единую технологию создания комплекса средств и мероприятий защиты для каждого элемента «корабль – ТС – личный состав» в рамках проблемы обеспечения электромагнитной безопасности кораблей, а также определить состав и параметры необходимой экспериментальной базы.

На основе результатов исследований ФГУП «Крыловский государственный научный центр» была разработана концепция обеспечения электромагнитной безопасности объектов, которая была реализована в новой промышленной технологии (рис. 2), основанной на научно-техническом сопровождении работ в течение всего жизненного цикла объектов, включающего все этапы проектирования, постройки, разработки и поставки ТС, сдачи и эксплуатации ТС и корабля в целом.

Разработанная технология учитывает то обстоятельство, что основные корабельные комплексы ТС не являются массовой продукцией, предназначенной

для широкого применения. Это позволяет при согласовании заданий на разработку ТС оптимизировать параметры ЭМС применительно к конкретному кораблю, для которого создаются ТС, и регламентировать порядок обеспечения ЭМС на всех стадиях создания корабля, включая систему оценки эффективности принимаемых технических решений.

В основе этой технологии лежит комплексный подход к проектированию корабля и поставляемых на него ТС как единой интегрированной системы. В рамках данного подхода задача обеспечения электромагнитной безопасности для каждого проекта корабля решается с учетом его назначения, конструктивных особенностей, параметров электроэнергетической системы и состава ТС, исходя из того, что конечная цель работ состоит в обеспечении сдачи и эксплуатации корабля во время совместного функционирования ТС без взаимных неприемлемых помех с учетом возможных мощных внешних электромагнитных воздействий. При этом параметры ЭМС не являются сдаточными параметрами, что позволяет отказаться от жесткого нормирования по ЭМС всего корабельного оборудования



Рис. 2. Структура разработанной технологии обеспечения электромагнитной безопасности морских технических объектов

Fig. 2. Structure of electromagnetic safety technology for marine technical objects

по единым требованиям, а знание реально достигнутых параметров ЭМС ТС – оптимизировать решение проблемы ЭМС путем рационального сочетания мероприятий, реализуемых проектантом корабля и разработчиками оборудования. Именно в этом и заключается инновационность разработанной технологии.

Указанный подход требует хорошей координации работ по обеспечению ЭМС, выполняемых проектантами и строителями кораблей, а также разработчиками и поставщиками корабельных ТС в течение всего цикла создания корабля. Для регламентации порядка проведения работ по обеспечению ЭМС на всех этапах жизненного цикла корабля и при поставке на него ТС ФГУП «Крыловский государственный научный центр» разработало и в 2012 г. ввело в действие отраслевой стандарт ОСТ 5Р.0754-2012 «Суда и объекты морской техники. Правила организации работ по обеспечению электромагнитной совместимости при проектировании, строительстве, эксплуатации судов и объектов морской техники, разработке и поставке на них технических средств».

Эффективное решение проблемы обеспечения ЭМС достигается следующими основными путями:

- оценка электромагнитной обстановки на проектируемом корабле;
- рациональное размещение оборудования по кораблю и внутри корабельных помещений;
- проведение интегральных проверок и измерений параметров ЭМС, реализуемых поставщиками оборудования;
- проведение проверок ЭМС на корабле, реализуемых проектантами и строителями корабля с привлечением головной организации по ЭМС.

Кроме этого, по результатам проверок ЭМС на корабле в ряде случаев конструктивные мероприятия дополняются организационно-техническими мероприятиями, которые исключают одновременную работу оборудования, являющегося наиболее интенсивным источником помех, и высокочувствительной электронной аппаратуры, реагирующей на эти недопустимые помехи.

Состав и порядок применения технических и организационных мероприятий по обеспечению ЭМС, выполняемых на протяжении всего цикла проектирования, постройки корабля и оснащения его ТС, регламентируется правилами обеспечения ЭМС на кораблях. Исходными данными при реализации этих правил ЭМС являются тактико-техническое задание на корабль и технические задания на поставляемые на корабль ТС.

Заказчик согласует результаты работ по обеспечению ЭМС на всех этапах проектирования, строительства и сдачи корабля, разработки и поставки на него оборудования. Кроме того, заказчик организует проведение экспертиз ЭМС корабля и поставляемых ТС, возглавляет комиссии по проведению этих экспертиз ЭМС и сдаточных испытаний в части ЭМС.

Рассмотренная технология обеспечения ЭМС кораблей при оперативном контроле качества мероприятий по обеспечению ЭМС с выявлением и устранением дефектов позволяет в необходимых обоснованных случаях снизить требования, предъявляемые к разрабатываемым ТС по параметрам ЭМС, и обеспечить выполнение данных требований за счет мероприятий, внедряемых ЦКБ-проектантами кораблей. Практическая реализация этой технологии обеспечения ЭМС кораблей и других объектов морской техники показала ее высокую эффективность.

Возвращаясь к вопросу о преднамеренных электромагнитных воздействиях, следует отметить, что наиболее мощное электромагнитное излучение создается ядерно-физическими источниками. Это так называемый первичный электромагнитный импульс (ЭМИ), обусловленный ядерно-физическими процессами в эпицентре источника, а также вторичный или внутренний ЭМИ, обусловленный процессами радиационного взаимодействия сопутствующего ионизирующего излучения с материалами корабельных корпусных конструкций и материалами заполнения корабельных помещений [3, 4].

После запрещения ядерных испытаний во всем мире активно начали искать альтернативные неядерные источники излучения, поражающее действие которых было бы сопоставимо с ЭМИ ядерных источников. В результате были технически реализованы источники направленной энергии, из которых наиболее опасным представляется сверхширокополосный (СШП) генератор воздействий. Излучающая система, построенная на его основе, воспроизводит последовательность электромагнитных СШП импульсов пикосекундной длительности с высокой заданной частотой повторения [5].

Специалисты разных стран обратили внимание на очень высокую эффективность указанных воздействий на информационные, вычислительные и телекоммуникационные системы различного назначения [6]. По мнению значительного числа зарубежных экспертов, СШП ЭМИ может стать одним из главных поражающих воздействий в XXI веке. При этом корабль как объект, насыщенный взаимосвя-

занными электронными системами и ТС, оказывается чрезвычайно уязвим при мощных преднамеренных электромагнитных воздействиях, что, как уже отмечалось, требует разработки специальных мероприятий и средств защиты.

Очевидно, что проблема обеспечения ЭМС и защиты кораблей от преднамеренных электромагнитных воздействий не может быть решена без создания современной специализированной испытательной экспериментальной базы [7]. Ее оборудование должно обеспечивать проведение необходимых экспериментальных исследований и испытаний на всех этапах жизненного цикла корабля, включая разработку и создание специальных средств обеспечения ЭМС ТС и безопасности личного состава.

Следует отметить, что в отличие от таких объектов, как летательные аппараты, объекты машиностроения и пр., корабли, как правило, не могут быть непосредственно помещены в рабочую зону имитатора воздействия в силу своих значительных размеров, достигающих сотен метров в длину. Указанное обстоятельство приводит к необходимости создания технологически сложных физических моделей и разработки специального методического обеспечения проведения испытаний и экспериментальных исследований, а также значительно усложняет технические требования к стендовому оборудованию.

В 80-е гг. в отечественном кораблестроении применительно к задачам защиты кораблей и судов от поражающего электромагнитного излучения ядерно-физических источников было начато создание экспериментальной базы в Горьковском филиале ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, отвечающей указанным выше требованиям [7]. В результате в эксплуатацию были введены стационарный импульсный электромагнитный имитатор ИЭМИ-6, позволяющий производить экспериментальную оценку стойкости отдельных блоков корабельных аппаратурных комплексов при воздействии нормируемого импульсного излучения ядерно-физических источников, а также мобильный имитатор «Торнадо», предназначенный для проведения испытаний в реальных натуральных условиях корабельных помещений. Однако к настоящему времени указанные экспериментальные средства морально и физически устарели, а в 90-е гг. оказались еще и частично утраченными.

В этой связи в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» была разработана новая концепция создания современной специализированной испытательной экспериментальной базы, обеспечивающей проведение необходимых экспе-

риментальных исследований и испытаний на всех этапах жизненного цикла корабля, включая разработку и создание специальных средств обеспечения ЭМС ТС и безопасности личного состава [8]. Структура специализированной экспериментальной базы показана на рис. 3.

В соответствии с разработанной концепцией на основе анализа предъявляемых требований были выделены три основные группы экспериментального оборудования, необходимых для решения проблемы обеспечения ЭМС и стойкости современных кораблей к внешним внесистемным электромагнитным воздействиям.

Первую группу экспериментальных средств, которая является базовой, составляет совокупность специализированных экспериментальных установок в составе стационарных лабораторных стендов. Применительно к рассматриваемой проблеме это экспериментальное оборудование относится к категории наиболее дорогостоящего и поэтому должно охватывать максимально широкий круг решаемых задач, что требует предварительной детальной проработки при определении назначения испытательного оборудования и выборе его параметров.

Создание стационарного стендового испытательного оборудования требует не только больших финансовых затрат, но и значительного времени на разработку оборудования и дополнительные строительные работы, поэтому в рамках концепции был использован следующий подход к определению состава и номенклатуры испытательного оборудования.

Исходя из реальных размеров корабельных аппаратурных комплексов, предназначенных для испытаний, стационарные стендовые установки, как правило, должны иметь размеры рабочих зон порядка 5–10 м. Эти установки предназначены, в первую очередь, для определения параметров ЭМС и стойкости аппаратурных комплексов с межблочными кабельными и проводными связями к основным видам внешних воздействий, а также для моделирования электромагнитной обстановки в корабельных помещениях с использованием крупногабаритных физических моделей корабельных конструкций.

В настоящее время все ТС, поставляемые на корабли, проходят обязательные испытания по параметрам ЭМС, порядок проведения которых определен существующей нормативной базой. При этом выбор параметров испытательного оборудования для решения задач обеспечения ЭМС кораблей не вызывает особых трудностей, поскольку эти параметры

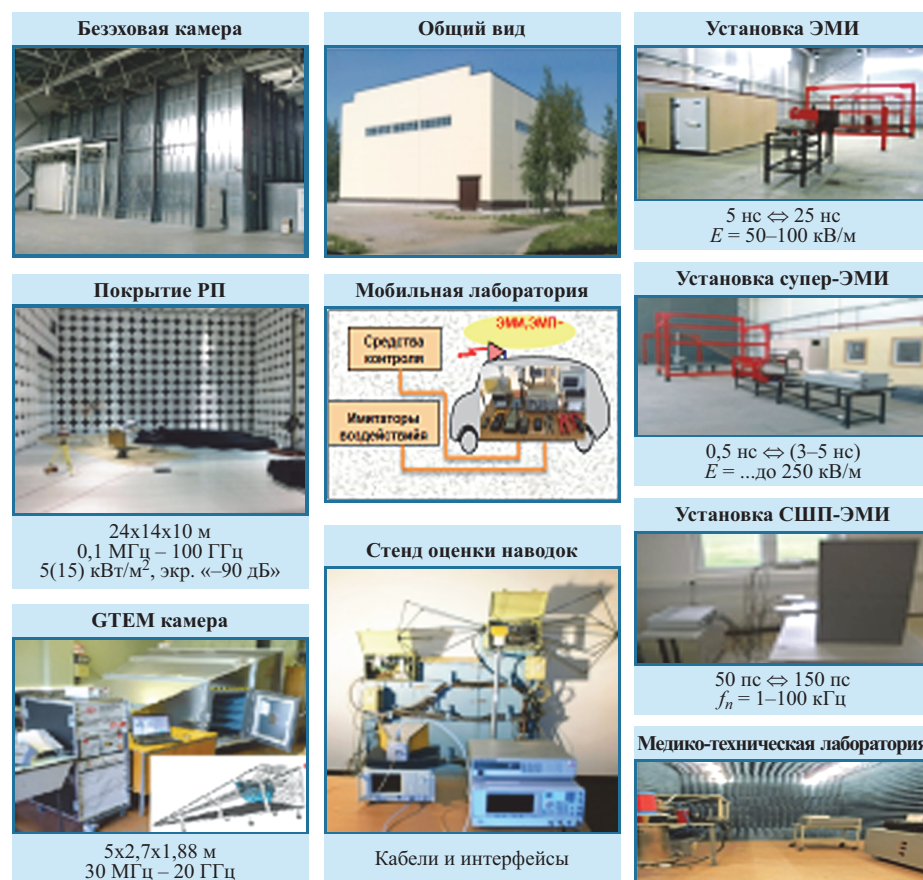


Рис. 3. Структура специализированной отраслевой экспериментальной базы

Fig. 3. Structure of specialized industrial test facilities

в большинстве случаев оговорены в существующих стандартах и нормативных документах.

Сложнее обстояло дело с выбором параметров испытательного оборудования применительно к задаче защиты от мощных внешних электромагнитных воздействий. Дело в том, что, как уже отмечалось, параметры поражающих преднамеренных воздействий и, соответственно, установок – имитаторов этих воздействий, как правило, априори не известны. Поэтому они должны быть предварительно определены с учетом всего жизненного цикла кораблей на основе долгосрочного (не менее чем на ближайшие 35 лет) прогнозирования и оценок тактико-технических параметров поражающих факторов перспективного преднамеренного поражающего электромагнитного излучения.

Совершенно очевидно, что в условиях бурного развития технических средств и непрерывного появления новых и совершенствования существующих источников поражающего электромагнитного излучения такие прогнозные оценки наталкиваются на значительные трудности и представ-

ляют собой самостоятельную сложную научно-техническую задачу.

В этой связи в состав стенда, в первую очередь, включены установки, позволяющие имитировать наиболее мощные виды поражающего излучения, изменение параметров которых в обозримом будущем представляется маловероятным. К числу таких видов воздействий относится электромагнитное излучение ядерно-физических источников, для которого из существующей отечественной и международной нормативно-технической документации известно описание амплитудно-временных и частотных спектральных параметров.

Как уже отмечалось, одним из наиболее перспективных видов поражающего преднамеренного излучения являются СШП ЭМИ-воздействия, что потребовало включения в состав стационарного стенда имитаторов СШП-излучения, позволяющих варьировать в процессе испытаний уровни и амплитудно-временные параметры излучения.

Следует отметить, что обычно в состав стационарного стендового оборудования для решения за-

дач ЭМС входят установки, позволяющие определять стойкость объектов к воздействию молниевых разрядов в соответствии с имеющейся нормативной документацией, а также эффективность используемых средств молниезащиты. Эти установки создаются на базе генераторов импульсов тока, амплитудно-временные параметры выходного тока которых выбираются на основе имеющихся нормативных документов для испытываемого объекта. Вопросы создания подобного оборудования достаточно хорошо известны и не нуждаются в дополнительном обосновании [9].

Базовой установкой стационарного стенда является экранированная безэховая камера, которая предназначена для проведения:

- испытаний ТС по помехоэмиссии в широком диапазоне частот в условиях отсутствия внешних помехонесущих полей;
- испытаний по помехоустойчивости ТС при внутрисистемных и внесистемных электромагнитных воздействиях;
- исследований и испытаний, связанных с разработкой источников и имитаторов мощного электромагнитного излучения;
- исследования и физического моделирования объектов и явлений, связанных с излучением электромагнитных полей в окружающую среду. Примером таких задач является определение радиолокационных портретов кораблей, а также другие практические задачи радиолокации в ближней и дальней зонах.

С учетом необходимости проведения испытаний аппаратных комплексов с кабельными и проводными связями были выбраны следующие размеры камеры (длина, ширина, высота) – $25 \times 15 \times 10$ м. Для всех основных видов испытаний безэховая камера оснащена набором аппаратно-программных средств из комплекта испытательного и измерительного оборудования, включающего систему генерации сигналов, усилители мощности, излучающие и измерительные антенны и устройства, а также компьютеризированную систему управления, измерения и обработки результатов испытаний. Кроме этого, в состав лабораторного испытательного оборудования для проведения исследовательских работ и испытаний малогабаритных объектов (отдельных аппаратных модулей, плат и пр.) входит дополнительная безэховая камера с тем же набором функций и с размерами $5 \times 2,5 \times 2,5$ м.

Для проведения испытаний на стойкость к преднамеренным электромагнитным воздействиям в состав стационарного стенда включены специальные

имитаторы ЭМИ и супер-ЭМИ ядерно-физических источников с рабочими объемами $5 \times 5 \times 7$ м, а также генераторы СШП ЭМИ-излучения. Последние конструктивно выполнены по модульному принципу и дополнены специальным устройством синхронизации работы отдельных модулей [5]. Это позволяет, подключив к каждому модулю отдельный элемент в виде ТЕМ-рупора излучающей общей антенной решетки, сформировать на выходе суммарный электромагнитный импульс требуемой амплитуды и частоты повторения с помощью устройства синхронизации.

В настоящее время для проведения прецизионных испытаний на ЭМС различного рода малогабаритного оборудования получили распространение многофункциональные аппаратно-программные комплексы, построенные на основе GTEM-камеры в форме ТЕМ-волновода. Такой аппаратно-программный комплекс также включен в состав оборудования стационарного лабораторного стендового комплекса. GTEM-камера выполнена в виде экранированного, закрытого со всех сторон металлического конуса, установленного на подвижное шасси. Достоинством этого вида установок является возможность полной автоматизации процесса испытаний по параметрам ЭМС в соответствии с отечественными и зарубежными стандартами с помощью специального аппаратно-программного комплекса, входящего в комплект оборудования установки, что особенно важно при проведении серийных испытаний для идентичных малогабаритных ТС.

Создание второй группы экспериментального оборудования обусловлено необходимостью проведения испытаний по параметрам ЭМС и стойкости к преднамеренным воздействиям поставляемых ТС на стадиях их создания и заводских испытаний на стендах разработчиков ТС и заводов-изготовителей, а также в период швартовных и ходовых испытаний непосредственно в натурных условиях с учетом влияния реальных корабельных конструкций и кабельных трасс [10]. Это экспериментальное оборудование является мобильным и предназначено как для стендового, так и для автономного использования. В созданном стендовом комплексе эта группа оборудования представлена автономной мобильной электромагнитной лабораторией, созданной на базе микроавтобуса «Форд».

Испытания, проводимые с помощью мобильных средств контроля, обеспечивают определение работоспособности ТС, а также оценку эффективности и полноты используемых средств защиты. Кроме этого, в процессе испытаний можно оценить реак-

цию ТС на локальные внешние электромагнитные воздействия и предельно допустимые уровни этих воздействий. Результаты определения электромагнитной обстановки в реальных условиях эксплуатации ТС могут быть использованы в дальнейшем для воспроизведения ее в условиях стационарных стендов и при расчетных численных оценках стойкости ТС на ранних стадиях их проектирования.

Наконец, третья группа экспериментального оборудования предназначена для обеспечения безопасности личного состава в условиях внутрисистемной помеховой обстановки, обусловленной функционированием корабельных ТС, а также при воздействии внешних электромагнитных поражающих факторов. Эта группа по номенклатуре и составу испытательного оборудования соответствует стационарному стендовому оборудованию первой группы. Однако в силу принципиально отличающихся методов проведения экспериментальных исследований и испытаний, основанных на проведении косвенных оценок безопасности личного состава с использованием вспомогательных биологических объектов, параметры и комплектация испытательного оборудования существенно отличаются от используемых при прямых испытаниях корабельных ТС [11].

В рамках стендового комплекса такая специализированная медико-техническая лаборатория создана совместно с ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» на его базе и введена в эксплуатацию в 2014 г. За последние годы в этой лаборатории проведен цикл испытаний, связанных с оценкой влияния на биологические объекты мощного электромагнитного излучения и прогнозирования параметров наиболее опасных для этих объектов поражающих электромагнитных воздействий. Результаты исследований были использованы при разработке защитных средств и мероприятий в обеспечение безопасности личного состава современных и перспективных кораблей.

Таким образом, созданная в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» отраслевая специализированная испытательная экспериментальная база, которая, по существу, является Центром коллективного пользования, обеспечивает:

- определение параметров электромагнитной совместимости поставляемых технических средств;
- имитацию преднамеренного электромагнитного излучения источников различной физической природы, включая ядерно-физические;
- обоснование технологий, средств и мероприятий защиты технических средств и личного состава, а также объекта в целом;

- определение параметров электромагнитной обстановки в помещениях объекта;
- экспериментальную оценку эффективности и достаточности реализованного комплекса средств защиты;
- крупномасштабное физическое моделирование корпусных конструкций объекта;
- испытание технических средств на стендах разработчиков и в реальных условиях объекта;
- проведение медицинских исследований, направленных на обеспечение защиты личного состава.

Кроме этого, экспериментальная испытательная база позволяет решать задачи радиолокационной защиты, связанные с оценкой заметности объектов и созданием их радиолокационных портретов.

Основные выводы

Main conclusions

Рассмотрение путей решения проблемы обеспечения электромагнитной безопасности морских технических объектов позволяет сделать следующие выводы:

1. Широкое внедрение современной микропроцессорной техники и электроники на кораблях и других морских технических объектах происходит в сочетании с резким увеличением их энерговооруженности и появлением источников мощного преднамеренного электромагнитного излучения поражающего действия. Это привело к необходимости создания новых технологий обеспечения электромагнитной безопасности объектов, включающей электромагнитную совместимость и стойкость ТС, а также безопасность личного состава.
2. Рассмотрение корабля, поставляемых на него ТС и личного состава как единой интегрированной системы позволяет в рамках единой методологии защиты от внутрисистемных и внесистемных внешних воздействий обеспечить электромагнитную безопасность корабля как в части его электромагнитной совместимости, так и в части безопасности личного состава.
3. Разработанная в рамках проводимых работ в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» инновационная технология позволяет отказаться от безусловного жесткого нормирования электромагнитных параметров корабельных ТС и основана на рациональном сочетании защитных средств и мероприятий, реализуемых разработчиками поставляемого оборудования и ЦКБ-проектантами объектов в течение всего жизненного цикла ТС в рам-

- ках научно-технического сопровождения работ компетентной организацией.
4. Созданная в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» отраслевая специализированная экспериментальная база обеспечивает практическую реализацию разработанной технологии и позволяет испытывать аппаратные комплексы вместе с кабельными и проводными связями в лабораторных и натурных условиях, на стендах разработчиков аппаратуры, а также оценивать эффективность и достаточность реализованного комплекса защитных средств и мероприятий. Испытательное оборудование обеспечивает имитацию основных видов мощных внешних преднамеренных электромагнитных воздействий поражающего характера различной физической природы, включая ядерно-физические источники излучения.
 8. Городецкий Б.Н., Петров С.В. Экспериментальная база для решения проблемы обеспечения электромагнитной совместимости морских технических объектов и обеспечения их защиты от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий // Технологии ЭМС. 2015. № 2(53). С. 23–30.
 9. Комягин С.И. Молниезащита и молниестойкость. Сходство и различие // Технологии ЭМС. 2006. № 3(18).
 10. Городецкий Б.Н. Моделирование в натурных условиях электромагнитной помеховой обстановки в корабельных помещениях // Морской вестник. 2017. № 1(61). С. 99–101.
 11. Городецкий Б.Н., Каляда Т.В., Петров С.В. Опыт разработки специализированной медико-технической лаборатории для исследований влияния мощного электромагнитного излучения на биологические объекты // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 2. С. 44–47.

Библиографический список

1. Вишневский А.М., Городецкий Б.Н., Свядоц Е.А. Защита морских технических объектов от поражающих электромагнитных воздействий и обеспечение их электромагнитной совместимости // Труды Международной научно-технической конференции, посвященной 120-летию Крыловского центра. Санкт-Петербург, 2014. С. 89–92.
2. Кечиев Л.Н., Балуик Н.В. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС. М.: Грифон, 2014.
3. Городецкий Б.Н., Кучин Н.Л. Оценка радиационно-наведенных помехонесущих электромагнитных полей в экранированных объемах // Технологии ЭМС. 2018. № 1.
4. Giles J.C., Prather W.D. High-altitude nuclear electromagnetic pulse simulators // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. June, 2013. Vol. 55. Iss. 3. P. 475–483.
5. Ефанов В.М., Крикленко А.В., Бердышев А.В., Нестеров Е.В., Провоторов Г.Ф., Щеголеватых А.С. Излучатели мощных электромагнитных импульсов нано-пикосекундного диапазона длительностей большой пиковой мощности // Труды XVIII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, Навигация, Связь» RLNC 2012. Воронеж, 2012. Т. 2. С. 1398–1404.
6. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий / Под ред. Т.П. Газизова. Томск: Томский гос. университет, 2002.
7. Городецкий Б.Н. Исследование воздействия на корабельные системы электромагнитного импульса // Флагман корабельной науки. Т. 6. СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2009.

References

1. Vishnevsky A., Gorodetsky B., Syadosh Ye. Electromagnetic compatibility of marine technical objects and their protection against electromagnetic attacks // Transactions of International Scientific & Technical Conference dedicated to 120th anniversary of KSRC. St. Petersburg, 2014. P. 89–92 (in Russian).
2. Kechiev L., Balyuk N. Foreign military standards for EMC. Moscow, Grifon, 2014 (in Russian).
3. Gorodetsky B., Kuchin N. Assessment of radiation-induced electromagnetic interference in shielded volumes // Technologies of electromagnetic compatibility, 2018, No. 1 (in Russian).
4. Giles J.C., Prather W.D. High-altitude nuclear electromagnetic pulse simulators // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. June, 2013. Vol. 55. Iss. 3. P. 475–483.
5. Yefanov V., Krikkenko A., Berdyshev A., Nesterov Ye., Provotorov G., Shegolevatyh A. Strong nano- and picosecond electromagnetic pulse emitters with high peak power // Transactions of the XVIIIth International Scientific and Technical Conference Radiolocation, Navigation, Communications (RLNC), 2012. Vol. 2. P. 1398–1404 (in Russian).
6. Electromagnetic terrorism at dawn of the new millennium. Tomsk State University, 2002 (in Russian).
7. Gorodetsky B. Electromagnetic pulse effect on ship systems // Flagship of ship science. Vol. 6. St. Petersburg, Krylov Shipbuilding Research Institute, 2009 (in Russian).
8. Gorodetsky B., Petrov S. Test facilities for electromagnetic compatibility and electromagnetic protection of marine

- technical objects // Technologies of electromagnetic compatibility. 2015. No. 2(53). P. 23-30 (*in Russian*).
9. *Komyagin S.* Lightning protection and lightning resistance. Similarities and differences // Technologies of electromagnetic compatibility. 2006. No. 3(18) (*in Russian*).
10. *Gorodetsky B.* Full-scale simulation of electromagnetic interference in ship spaces // *Morskoy Vestnik*. 2017. No. 1(61). P. 99–101 (*in Russian*).
11. *Gorodetsky B., Kalyada T., Petrov S.* Development experience of medical & technical laboratory for investigation of strong electromagnetic effects upon living creatures // *Occupational Health and Industrial Ecology*. 2015. Vol. 2. P. 44–47 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Вишневский Александр Михайлович, д.т.н., профессор, начальник отделения ФГУП «Крыловский государствен-

ный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: 8 (812) 415-65-10. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Городецкий Борис Николаевич, д.т.н., старший научный сотрудник, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Тел.: 8 (812) 415-45-80. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

About the authors

Alexander M. Vishnevsky, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Division, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-65-10. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Boris N. Gorodetsky, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-45-80. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Поступила / Received: 01.11.18
Принята в печать / Accepted: 01.02.19
© Вишневский А.М., Городецкий Б.Н., 2019