

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-149-158
УДК 621.396.6:621.391.82+629.5.018

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

ПОРЯДОК ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ

Объект и цель научной работы. В статье рассматриваются вопросы организации работ по обеспечению требований электромагнитной совместимости и стойкости к внешним электромагнитным воздействиям кораблей и судов в соответствии с нормативными документами. Целью является рациональная практическая реализация разработанной в Крыловском центре технологии обеспечения электромагнитной совместимости и стойкости к внешним воздействиям морских технических объектов (МТО).

Материалы и методы. Вышеупомянутая технология основана на научно-техническом сопровождении работ на всех этапах жизненного цикла объекта. Это обстоятельство приводит к необходимости привлечения множества организаций и предприятий, связанных с созданием технических заданий, проектированием, разработкой поставляемого оборудования, проведением сдаточных и других испытаний, а также эксплуатацией объекта. В этой связи становится актуальной задача рационального привлечения этих организаций и предприятий на всех этапах жизненного цикла МТО.

Основные результаты. Рассмотрен порядок организации работ всех организаций и предприятий в течение жизненного цикла МТО, включая корабли и суда как наиболее сложные из них, при практической реализации разработанной технологии обеспечения электромагнитной совместимости объектов и стойкости поставляемых технических средств. Показано, что при этом необходимо использование специализированной экспериментальной базы, и приведены основные требования к ее возможностям. Рассмотрены особенности структуры отраслевого испытательного центра ЭМО-ЭМС, созданного в Крыловском центре и отвечающего сформулированным требованиям.

Заключение. Практическая реализация технологии обеспечения электромагнитной совместимости МТО и стойкости к внешним воздействиям (которая основана на рациональном сочетании защитных средств и мероприятий, реализуемых как разработчиками поставляемого оборудования, так и ЦКБ-проектантами объектов в рамках научно-технического сопровождения компетентной организацией) требует оптимальной организации работ и взаимодействия всех предприятий в течение жизненного цикла МТО. Представленный порядок организации работ при реализации указанной технологии и использовании отраслевой экспериментальной базы позволяет оптимизировать работы по обеспечению электромагнитной совместимости объектов, включая корабли и суда, а также обеспечить их стойкость при внешних электромагнитных воздействиях.

Ключевые слова: корабли и суда, морской технический объект, технические средства, электромагнитная совместимость, электромагнитные воздействия, стойкость при внешних воздействиях.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-149-158
UDC 621.396.6:621.391.82+629.5.018

B.N. Gorodetsky, A.M. Vishnevsky , A.I. Gorshkov
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

ORGANIZATION OF EMC ENHANCEMENT MEASURES FOR MODERN SHIPS

Для цитирования: Городецкий Б.Н., Вишнеvский А.М., Горшков А.И. Порядок организации работ по обеспечению электромагнитной совместимости современных кораблей и судов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 1(403): 149–158.

For citations: Gorodetsky B.N., Vishnevsky A.M., Gorshkov A.I. Organization of EMC enhancement measures for modern ships. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 1(403): 149–158 (in Russian).

Object and purpose of research. This paper discusses organization of the measures intended to enhance EMC and electromagnetic robustness of ships in accordance with regulations. The purpose is to obtain an optimal procedure for practical implementation of KSRC-developed methodology intended to ensure electromagnetic compatibility of equipment aboard marine objects and their robustness against electromagnetic attacks.

Materials and methods. The methodology mentioned above is centered around scientific and engineering support of the object at all stages of its life cycle. It requires participation of numerous organizations and enterprises in charge of specifications development, equipment design, testing (acceptance, etc.), as well as operation of the object. Therefore, development of an optimal scenario for participation of all these organizations and enterprises at various life cycle stages of marine object becomes a relevant task.

Main results. This paper discusses the whole participation scenario for all organizations and enterprises over the entire life cycle of marine objects, including the most sophisticated ones, i.e. ships, in terms of practical implementation for KSRC-developed methodology of EMC and electromagnetic robustness enhancement. It demonstrates that this task requires special test facilities, with enumeration of their respective key capabilities. It also describes the peculiarities of industrial degaussing/deperming/EMC test center established at KSRC in accordance with the requirements set out in this paper.

Conclusion. Practical implementation of EMC and electromagnetic robustness enhancement methodology for marine objects is centered around optimal combinations of protective tools and measures (taken by both equipment manufacturers and ship designers coordinated by a dedicated agency in charge of scientific and engineering support) and requires optimal work organization, as well as optimal interaction between all stakeholders over the entire life cycle of marine object. Practical implementation scenario for this methodology relies on industrial test facilities and makes it possible to achieve EMC and electromagnetic robustness of various objects, including ships, in an optimal manner.

Keywords: ships, marine objects, equipment, EMC, electromagnetic attacks, electromagnetic robustness.

The authors declare no conflicts of interest.

Внедрение новых цифровых информационных технологий и средств микропроцессорной техники на современных морских технических объектах (МТО), к которым относятся как наиболее сложные объекты – корабли и суда, так и другие плавучие объекты (например, морские платформы), обеспечили существенное улучшение технических параметров их систем управления, автоматике, гидроакустики, связи, навигации и электрооборудования (далее – технические средства (ТС)).

Однако побочным результатом этого процесса стала резко обострившаяся проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) ТС и их стойкости к внешним электромагнитным воздействиям вследствие существенного ухудшения электромагнитной обстановки в местах размещения ТС на МТО.

Одной из основных причин сложившейся ситуации явилось то обстоятельство, что высокочувствительное радиоэлектронное оборудование, работающее в широком диапазоне частот, располагается в предельно ограниченном пространстве в непосредственной близости к элементам электрооборудования (ЭО) и кабельным трассам мощной электроэнергетической системы (ЭЭС), а также к потребителям электроэнергии, из которых более трети – нелинейные, генерирующие помехи в широком диапазоне частот. Дополнительные трудности обеспечения ЭМС и стойкости ТС обусловлены наличием протяженных проводных и кабельных связей (в т.ч. высокоскоростных) между отдельными блоками

радиоэлектронных средств (РЭС), которые интегрируются в сложные аппаратные комплексы. При этом отдельные элементы ТС, включая ЭО и РЭС, могут располагаться как в пространственно удаленных помещениях МТО, так и очень близко друг от друга [1].

В типичных ситуациях, связанных с применением в ТС новых зарубежных и импортзамещающих компонентов, оказалось исключительно трудоемким выявление причин сбоев при совместной работе аппаратуры и ЭЭС из-за влияния параметров монтажа оборудования и кабельной сети. Это резко затрудняло проведение мероприятий по обеспечению ЭМС ТС в процессе их настройки в натуральных условиях МТО и наиболее остро проявлялось при оперативной корректировке межприборных кабельных связей на завершающих этапах постройки и сдачи МТО и, как следствие, приводило к срывам плановых сроков.

Следует отметить, что в кораблестроении и судостроении, как в России, так и в большинстве других промышленно развитых стран, обеспечение ЭМС и стойкости ТС основано на оценке соответствия ТС нормативным требованиям, регламентируемым действующими стандартами. Основным недостатком такого подхода является отсутствие учета конкретных мест установки ТС, приводящее в ряде случаев к завышению требований и дополнительным затратам на их реализацию. К тому же оценка параметров ЭМС и параметров стойкости ТС в стендовых условиях без учета влияния реальных кабельных

трасс и особенностей корпусных конструкций МТО не гарантирует обеспечение штатного функционирования ТС в условиях реальной электромагнитной обстановки помещений МТО.

В этой связи в Крыловском центре была разработана специальная технология обеспечения ЭМС и стойкости ТС «МТО – ТС», основанная на рассмотрении МТО и его ТС как единой интегрированной системы. Как показано в работе [2], для ТС МТО могут быть сформулированы задачи обеспечения безопасного штатного функционирования с заданным качеством (ГОСТ 303372-95) в условиях внутрисистемной реальной помеховой обстановки на МТО, а также в условиях внешних внесистемных электромагнитных воздействий естественного и искусственного происхождения, в т.ч. преднамеренного характера. При этом ключевым общим этапом решения этих задач является определение параметров электромагнитной обстановки в помещениях МТО в местах размещения ТС и, следова-

тельно, оценка уровней непосредственно воздействующих на них полей. Полученная таким образом информация о пространственных амплитудно-временных и спектральных распределениях характеристик воздействующих электромагнитных полей позволяет обоснованно подойти к решению вопроса о рациональном выборе мероприятий по обеспечению ЭМС ТС и комплекса средств их защиты от внешних электромагнитных воздействий [3].

Специфика и особенности каждого из элементов системы «МТО – ТС» находят отражение в организации процесса проектирования и строительства МТО в целом. Непосредственным проектированием и строительством МТО занимаются ЦКБ-проектанты и заводы-строители, а разработкой, изготовлением и поставкой ТС – поставщики оборудования. При этом заказчик контролирует выполнение существующих требований на всех этапах жизненного цикла создаваемого МТО. Предлагаемый в разработанной технологии комплексный

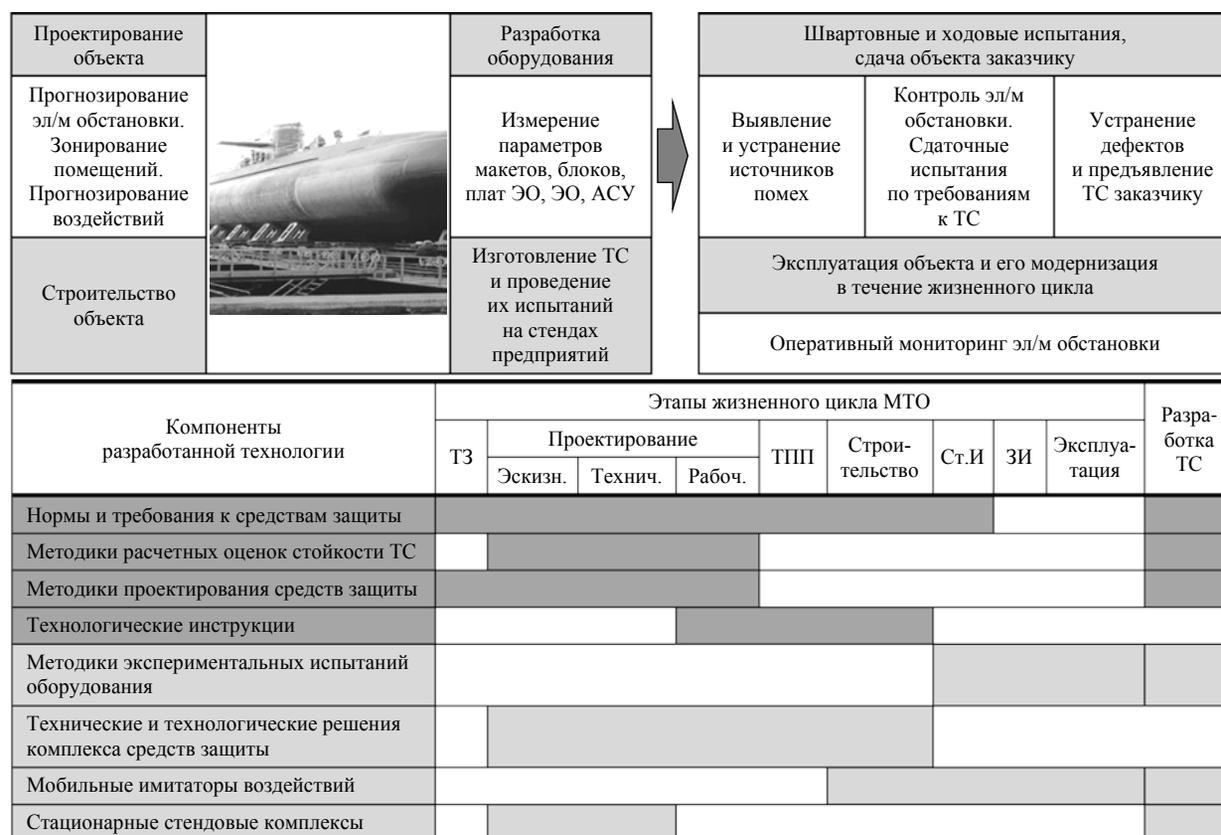


Рис. 1. Научно-техническое сопровождение работ на всех этапах жизненного цикла морского технического объекта при практической реализации разработанной технологии

Fig. 1. Scientific and engineering support at all life cycle stages of marine object towards practical implementation of the suggested methodology

подход для решения проблемы дает возможность исключить жесткое нормирование характеристик ТС по параметрам ЭМС и параметрам стойкости к внешним воздействиям, а также перейти к обоснованию этих требований для каждого ТС с учетом особенностей его размещения и параметров электромагнитной обстановки в конкретном помещении МТО на основе компромиссных решений.

В основе технологии лежит принцип обязательного научно-технического сопровождения работ [4] на всех стадиях создания и эксплуатации МТО, показанных на рис. 1. Здесь ТЗ – этап разработки технических заданий на МТО и поставляемые ТС, ТПП – обоснование технологии подготовки производства, Ст.И – стоповые испытания, ЗИ – заводские испытания.

Следует отметить, что в понятие «помехоустойчивость» можно включить стойкость РЭС к внешним электромагнитным воздействиям в условиях внутрисистемной помеховой обстановки, как это делается в зарубежных стандартах [5], где все эти понятия объединены в рамках решения единой проблемы обеспечения ЭМС объекта. Учитывая это обстоятельство, а также уже отмеченную методическую схожесть указанных задач, под обеспечением ЭМС ТС мы будем понимать и обеспечение их стойкости к внешним электромагнитным воздействиям.

Эффективное решение проблемы обеспечения ЭМС на МТО достигается следующими основными путями:

- оценкой помеховой обстановки на проектируемом объекте, выполняемой на основе зонирования помещений МТО;
- рациональным размещением оборудования в пределах МТО и внутри его помещений;
- проведением интегральных проверок и измерений параметров ЭМС и стойкости ТС, реализуемых поставщиками оборудования;
- проведением специальных проверок ЭМС на МТО, реализуемых проектантами и строителями МТО с привлечением головной организации по ЭМС.

Кроме того, по результатам проверок ЭМС на МТО в ряде случаев конструктивные мероприятия дополняются организационно-техническими, включающими одновременную работу оборудования, являющегося наиболее интенсивным источником помех, и высокочувствительной электронной аппаратуры, реагирующей на эти помехи.

Очевидно, что предложенная технология обеспечения ЭМС требует четкой координации работ

всех предприятий, участвующих в создании МТО: ЦКБ-проектантов, разработчиков и поставщиков ТС, заводов-строителей и заказчика. Такая координация является достаточно сложной самостоятельной организационно-технической задачей, от выполнения которой во многом зависит успешное решение сформулированной проблемы. В этой связи в Крыловском центре был разработан и в 2012 г. введен в действие специальный отраслевой стандарт ОСТ5Р.0754-2012 [6]. Стандарт регламентирует порядок проведения работ всеми участниками на протяжении полного жизненного цикла МТО: на стадиях эскизного, технического и рабочего проектирования, выдачи технических заданий на разработку ТС, их разработки, строительства МТО, сдаточных испытаний и эксплуатации (рис. 1).

Обеспечение ЭМС является общекорабельной задачей, и в ее решении участвует значительная часть подразделений ЦКБ – проектанта МТО. При этом, поскольку часть мероприятий по обеспечению ЭМС ТС и оборудования ЭЭС на МТО влияет на его конструктивный облик, общее руководство и координацию работ по ЭМС осуществляют специалисты группы главного конструктора МТО, а ответственность за обеспечение ЭМС на МТО возложена на главного конструктора МТО. Состав и порядок применения технических и организационных мероприятий по обеспечению ЭМС, выполняемых на протяжении всего цикла проектирования, постройки МТО и оснащения его оборудованием, регламентируется действующими требованиями обеспечения ЭМС ТС на МТО.

Заказчик согласовывает результаты работ по обеспечению ЭМС на всех этапах проектирования, строительства и сдачи МТО, разработки и поставки на него оборудования. Кроме этого, заказчик организует проведение экспертиз по параметрам ЭМС МТО и поставляемого оборудования, а также возглавляет комиссии по проведению экспертиз и сдаточных испытаний в части ЭМС. Отметим, что для разрабатываемых сложных радиоэлектронных комплексов, не имеющих аналогов, проведение работ по ЭМС в течение всего периода проектирования и строительства не исключает в требуемых случаях необходимости корректировки принятых решений во время проведения испытаний на МТО. Это объясняется принципиальной ограниченностью результатов расчетов и измерений в стендовых условиях, которые не могут учесть всех особенностей реальной помеховой обстановки на МТО.

Программа сдаточных испытаний по параметрам ЭМС разрабатывается с учетом того, что ос-

новным критерием выполнения требований ЭМС является штатное функционирование ТС по прямому назначению без снижения эффективности из-за воздействия реальной электромагнитной обстановки на МТО. Для каждого вида аппаратуры в программе приводятся критерии эффективности ее работы. Программа сдаточных испытаний включает в себя специальный перечень имеющихся ТС и электрооборудования. В перечне определяется последовательность включения силового электрооборудования и режимы его работы при испытаниях аппаратуры по параметрам ЭМС. При этом для всего оборудования приводятся режимы включения-выключения и критерии возможного снижения эффективности его работы.

Требования по параметрам ЭМС считаются выполненными, если во всех режимах включения электрооборудования параметры ТС не выходили за допустимые пределы. В случае невыполнения требований ЭМС определяется источник помех (оборудование, включение которого привело к невыполнению требований) и разрабатываются дополнительные мероприятия по обеспечению ЭМС.

Имитаторы внешних электромагнитных воздействий, которые используются как неразрушающие средства контроля, включаются дополнительно для реализации наиболее сложных условий внутрисистемной помеховой обстановки, что позволяет гарантировать стойкость ТС в условиях как внутренних, так и внешних электромагнитных воздействий.

В период ходовых испытаний МТО производятся следующие работы:

- измерения напряженности электрического поля при работе радиопередающих устройств и средств радиолокации;
- испытания по параметрам ТС аппаратуры, которая не могла быть задействована по прямому назначению в период швартовых испытаний МТО и, в частности, аппаратуры и оборудования, работавших во время швартовых испытаний на эквиваленты.

По результатам сдаточных испытаний головного МТО данного проекта по параметрам ЭМС составляется экспертное заключение, содержащее данные о достигнутых параметрах ЭМС и рекомендации, которые следует реализовать на серийных МТО и/или серийных образцах поставляемого оборудования.

Таким образом, разработанная концепция организации работ для обеспечения ЭМС МТО и стойко-

сти ТС к внешним электромагнитным воздействиям позволяет существенно оптимизировать требования к разрабатываемым ТС и тем самым уменьшить затраты на их разработку и изготовление без снижения общих качественных показателей.

Как следует из рис. 1 и как показывает имеющийся практический опыт, решение проблемы обеспечения ЭМС МТО и их защиты от внешних воздействий не представляется возможным без создания специализированной экспериментальной испытательной базы. По существу, речь идет об использовании испытательного оборудования, предназначенного для решения задач обеспечения электромагнитной совместимости ТС и о создании специальных имитаторов внешних электромагнитных воздействий, обусловленных источниками естественного и искусственного происхождения. Экспериментальная испытательная база должна обеспечивать:

- проведение испытаний по всей совокупности требований обеспечения параметров ЭМС ТС, включающей оценку их помехоэмиссии и помехоустойчивости в соответствии с нормативной базой;
- проведение испытаний на стойкость поставляемых ТС к внешним воздействиям;
- проведение испытаний ТС в условиях стендов разработчиков ТС и их изготовителей;
- проведение исследований, направленных на разработку технологий обеспечения ЭМС ТС и средств их защиты от внешних электромагнитных воздействий;
- физическое моделирование электромагнитной обстановки в корабельных помещениях в местах размещения ТС с использованием крупногабаритных моделей корпусных конструкций;
- экспериментальную проверку в реальных условиях корабля достоверности принятых технических решений, а также оценку эффективности разработанных технологий с помощью специальных мобильных испытательных комплексов;
- верификацию разрабатываемых расчетных методик и программных средств.

Следует отметить, что до последнего времени в отечественном кораблестроении и судостроении экспериментальная база, полностью отвечающая перечисленным требованиям, отсутствовала. В то же время использование испытательного оборудования аналогичного назначения, имеющегося в смежных областях, возможно лишь для решения ограниченного круга задач. Это связано, прежде всего, с габаритными ограничениями рабочих зон

используемого оборудования и невозможностью учета таких корабельных специфических особенностей, как большая протяженность кабельных трасс, сложность конфигурации корпусных конструкций и высокая насыщенность помещений взаимосвязанными аппаратными комплексами. Дополнительные трудности возникают при реализации физического моделирования электромагнитной обстановки в корабельных помещениях, требующего изготовления крупномасштабных моделей конструкций и разработки специальных методик моделирования.

В этой связи в Крыловском центре была разработана концепция и создана уникальная специализированная экспериментальная испытательная база, получившая название «Испытательный центр ЭМО-ЭМС», которая отвечает всем перечисленным выше требованиям [7]. Не останавливаясь подробно на описании, отметим основные особенности структуры этого испытательного центра.

Стеновой состав указанного центра показан на рис. 2. Здесь: ГТЕМ-камера (камера поперечной электромагнитной волны в гигагерцовом диапазоне частот), СШП – сверхширокополосный, ЭМИ – электромагнитный импульс.

Как видно из рис. 2, испытательный центр включает в себя два специализированных стеновых комплекса.

Первый из них является стационарным и предназначен для проведения в лабораторных условиях испытаний и исследований в рамках проблемы обеспечения ЭМС и стойкости ТС к преднамеренным внешним воздействиям аппаратурных комплексов и их отдельных блоков.

Второй комплекс установок – мобильный. Он предназначен для использования на стендах разработчиков и изготовителей ТС, а также непосредственно в корабельных натуральных условиях с учетом влияния корабельных конструкций и кабельных трасс. Кроме этого, аппаратура этого комплекса используется для задания локальных электромагнитных воздействий на испытываемые объекты в условиях стационарных стендов.

Ключевой установкой первой группы испытательного оборудования является крупногабаритная безэховая экранированная камера, габаритные размеры которой приведены на рис. 2. Экран камеры выполнен из стали с двухслойным радиопоглощающим покрытием на всех внутренних стенках, которое состоит из слоя ферритовых пластин, закреп-



Рис. 2. Структура специализированного отраслевого испытательного центра

Fig. 2. Structure of dedicated industrial testing centre

ленных на металлическом экране, и пирамидально-го покрытия, обеспечивающего поглощение электромагнитного излучения на его поверхности до 5 кВт/м^2 в частотном диапазоне до 100 ГГц.

Безэховая камера оборудована дистанционно управляемым поворотным столом с допустимой нагрузкой до 5 т, крупногабаритными воротами и входной дверью с соответствующими электромагнитными уплотнениями. В состав оборудования камеры также входит экранированная кабина, вынесенная за пределы камеры и используемая для размещения аппаратуры и персонала.

В зависимости от вида проводимых испытаний безэховая камера может оснащаться во всем рабочем частотном диапазоне различным набором аппаратно-программных средств из комплекта испытательного и измерительного оборудования. Данное оборудование входит в состав камеры и включает систему генерации сигналов, усилители мощности, излучающие и измерительные антенны, измерители мощности и напряженности электрического и магнитного полей, компьютеризированную систему управления, измерения и обработки результатов испытаний. Процесс испытаний объекта может быть полностью автоматизирован в соответствии с отечественными или зарубежными стандартами, а также с используемой программой испытаний.

Габаритные размеры и оснащение безэховой экранированной камеры обеспечивают проведение испытаний крупномасштабных физических моделей корабельных корпусных конструкций и комплексов ТС с учетом их кабельных и проводных межблочных связей, а также испытаний существующих и перспективных создаваемых имитаторов мощного электромагнитного излучения.

Для оценки стойкости ТС при воздействии импульсного электромагнитного излучения ядерно-физических источников в соответствии с нормативной базой предназначены установки, имитирующие мощный электромагнитный импульс и супер-ЭМИ [3]. Эти установки воспроизводят мощные одиночные импульсы нано- и субнаносекундного временных диапазонов, амплитудно-временные и спектральные частотные параметры которых соответствуют отечественным и международным стандартам.

В состав каждой из этих установок входят система полеобразования, генератор импульсных напряжений накопительного типа, выполненный по схеме Аркадьева – Маркса [3], а также пульт управления и измерительная система. Последние два элемента располагаются в экранированной кабине.

Система полеобразования установки ЭМИ конструктивно представляет собой двухпроводную горизонтальную полосковую проводную линию размером $10 \times 4 \times 4 \text{ м}$ с волновым сопротивлением 150 Ом.

В установке супер-ЭМИ система полеобразования конструктивно выполнена в виде открытой двухпроводной горизонтальной полосковой линии размером $8 \times 4 \times 4 \text{ м}$ с таким же волновым сопротивлением 150 Ом.

Для имитации сверхширокополосных сверхкоротких повторяющихся импульсов предназначена установка СШП-ЭМИ, выполненная на базе полупроводникового генератора. Конструктивно СШП-генератор состоит из блока генераторов СШП-ЭМИ, антенной решетки (набора ТЕМ-рупоров), блока питания, блока синхронизации, широкополосного измерительного модуля, системы управления, регистрации и обработки результатов измерений.

Достоинством этих установок является возможность полной автоматизации процесса испытаний по параметрам ЭМС в соответствии с действующими стандартами с помощью специального аппаратно-программного комплекса, входящего в комплект их оборудования, что особенно важно для проведения серийных испытаний идентичных малогабаритных ТС. Эти установки, в частности, могут быть использованы для проверки отдельных компонентов и элементной базы ТС в соответствии с существующими требованиями.

Кроме указанных, в состав стационарных установок стендового комплекса входит малогабаритная безэховая экранированная камера размером $2,5 \times 3 \times 4 \text{ м}$ с радиопоглощающим покрытием, работающим в диапазоне частот до 40 ГГц. Эта камера предназначена для исследовательских работ, связанных с разработкой отдельных конструктивных узлов и модулей средств защиты ТС, а также для испытаний малогабаритных объектов согласно ее рабочему объему.

Дополнительными устройствами стационарного стендового комплекса являются малогабаритный имитатор локальных электромагнитных воздействий, работающий в монохроматическом и импульсном (радиоимпульсы) режимах, а также стенд для оценки наводок на кабелях и интерфейсах ТС. Основное назначение имитатора – воспроизведение в рабочей зоне безэховой камеры электромагнитного излучения в виде радиоимпульсов с заданными амплитудно-временными параметрами.

Второй комплекс установок испытательного центра смонтирован на передвижной автономной платформе, выполненной на базе микроавтобуса,

и носит название «Мобильная электромагнитная лаборатория». Аппаратурная часть комплекса состоит из ряда переносных мобильных устройств: СШП-ЭМИ генератора, системы генерации гармонических радиочастотных сигналов, усилителей мощности, набора излучающих и измерительных антенн, измерителей мощности и напряженностей электрического и магнитного полей, а также компьютеризированной системы управления, измерения и обработки результатов измерений. Диапазон рабочих частот испытательного и измерительного оборудования лежит в пределах от 0,1 МГц до 40 ГГц.

Аппаратура, входящая в мобильный комплекс установок, сформирована на базе новейших технологий последнего поколения измерительных средств и оборудования для проведения электромагнитных испытаний [8]. Установки, созданные на базе этой аппаратуры, позволяют регистрировать параметры электрических и магнитных полей от постоянных до сверхвысокочастотных (до 40 ГГц), контролировать параметры ЭМС корабельных ТС в части помехоактивности и помехозащищенности, а также стойкости к внешним воздействиям существующих и перспективных видов источников излучения.

Кроме этого, в состав мобильной электромагнитной лаборатории входят мобильные технические средства неразрушающего контроля в виде локальных имитаторов воздействий с регулируемой выходной мощностью излучателей, а также средства измерения пространственного распределения амплитудно-временных и частотных спектральных характеристик электромагнитных полей в корабельных помещениях. Эти технические средства предназначены для контроля параметров электромагнитной обстановки непосредственно в корабельных помещениях при имитации потенциально возможных внешних электромагнитных воздействий [9].

Испытания, проводимые с помощью мобильных средств контроля, дают возможность определить работоспособность и полноту используемых средств защиты, реакцию ТС на локальные внешние воздействия, а также оценить предельно допустимые уровни этих воздействий. В дальнейшем результаты определения параметров электромагнитной обстановки в реальных корабельных условиях эксплуатации ТС могут быть использованы для воспроизведения этой электромагнитной обстановки в условиях стационарных стендов при проверках ТС, а также при проведении численных расчетных оценок стойкости ТС на ранних стадиях их проектирования.

Таким образом, созданный в Крыловском центре испытательный центр ЭМО-ЭМС позволяет проводить весь комплекс необходимых экспериментальных исследований и испытаний (рис. 1, 2) в течение полного жизненного цикла МТО при практической реализации разработанной современной технологии обеспечения их ЭМС и защиты ТС от внешних электромагнитных воздействий.

В заключение следует отметить, что созданная специализированная экспериментальная база (испытательный центр ЭМО-ЭМС) позволяет не только обеспечивать электромагнитную совместимость и защиту корабельных технических средств, но и решать более широкий круг практических задач в различных приложениях. К их числу относятся обеспечение электромагнитной совместимости различных промышленных объектов, радиоэлектронная борьба, радиоэлектронное противодействие, борьба с электромагнитным терроризмом, а также ряд других задач, связанных с необходимостью обеспечения ЭМС ТС и имитации внешних электромагнитных воздействий в широком диапазоне частот (в т.ч. для разработки средств защиты от мощных преднамеренных электромагнитных воздействий поражающего действия).

Кроме этого, оборудование испытательного центра ЭМО-ЭМС может быть использовано для проведения экспериментальных исследований, связанных с защитой от электромагнитных воздействий биологических объектов. Так, на базе ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» была создана и оснащена при участии Крыловского центра специализированная медико-техническая лаборатория [10]. Создание этой лаборатории позволило провести комплекс экспериментальных исследований, направленных на разработку рекомендаций по защите персонала и личного состава МТО от мощного электромагнитного излучения.

Таким образом, указанные выше обстоятельства позволяют рассматривать стенды и установки созданной экспериментальной базы как Центр коллективного пользования, предназначенный для широкого круга предприятий и организаций, решающих аналогичные задачи в различных приложениях.

Выводы

Conclusion

Рассмотрение проблемы обеспечения электромагнитной совместимости морских технических объектов, включая корабли и суда, а также проблемы

защиты поставляемых технических средств от внешних электромагнитных воздействий позволяет сделать следующие выводы.

1. Практическая реализация созданной в Крыловском центре технологии обеспечения электромагнитной совместимости МТО и стойкости к внешним воздействиям, которая основана на рациональном сочетании защитных средств и мероприятий, реализуемых разработчиками поставляемого оборудования и ЦКБ-проектантами объектов в рамках научно-технического сопровождения компетентной организацией, требует оптимальной организации работ и взаимодействия всех предприятий в течение полного жизненного цикла МТО. Порядок организации этих работ приведен в отраслевом стандарте ОСТ5Р.0754-2012, разработанном в Крыловском центре и введенном в действие в 2012 г.
 2. Реализация разработанной технологии и порядка организации работ в течение жизненного цикла МТО в соответствии с ОСТ5Р.0754-2012 требует использования современной экспериментальной испытательной базы. В Крыловском центре создан отраслевой испытательный центр ЭМО-ЭМС, позволяющий производить необходимые исследования и испытания в лабораторных и натурных условиях и отвечающий всем предъявляемым требованиям.
 3. Представленный порядок организации работ при реализации разработанной технологии и использовании созданной отраслевой экспериментальной базы позволяет оптимизировать работы по обеспечению электромагнитной совместимости промышленных технических объектов, включая корабли и суда, а также обеспечить их стойкость при внешних электромагнитных воздействиях.
3. *Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В.* Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. Москва : Группа ИДТ, 2008. 478 с.
 4. Научно-техническое сопровождение работ при реализации технологии защиты морских объектов от мощных электромагнитных воздействий / *А.М. Вишневецкий, Б.Н. Городецкий, А.И. Гришков, Е.А. Свядоц* // Морской вестник. 2017. Вып. 2(62). С. 75–77.
 5. *Кечиев Л.Н., Балюк Н.В.* Зарубежные военные стандарты в области ЭМС. Москва : Грифон, 2014. 447 с.
 6. ОСТ5Р.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. Санкт-Петербург, 2012. С. 3–8.
 7. *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 электромагнитной совместимости. 2015. № 2(53). С. 23–30.
 8. Особенности построения мобильного испытательного оборудования для определения параметров электромагнитной совместимости судовых радиоэлектронных систем и других технических средств / *П.В. Блинков, А.М. Вишневецкий, Б.Н. Городецкий, Е.А. Свядоц* // Радиолокация, Навигация, Связь : труды XIX Международной научно-технической конференции. Воронеж, 2013. Т. 3. С. 1981–1985.
 9. *Городецкий Б.Н.* Моделирование в натурных условиях электромагнитной помеховой обстановки в корабельных помещениях // Морской вестник. 2017. № 1. С. 99–101.
 10. *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.

Список использованной литературы

1. *Воршевский А.А.* Электромагнитная совместимость судовых технических средств по импульсным помехам, возникающим, распространяющимся и воздействующим в судовой электроэнергетической системе // Технологии электромагнитной совместимости. 2007. № 3(22). С. 23–32.
2. *Вишневецкий А.М., Городецкий Б.Н.* Проблема обеспечения электромагнитной безопасности современных морских технических объектов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. Вып. 1(387). С. 143–154. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-387-143-154.

References

1. *Vorshesky A.A.* Electromagnetic compatibility of ship's technical equipment by pulse interference arising, propagating and acting in the ship's electric power system // Technologies of electromagnetic compatibility. 2007. Vol. 3(22). P. 23–32 (in Russian).
2. *Vishnevsky A.M., Gorodetsky B.N.* Electromagnetic safety of modern marine facilities // Transactions of Krylov State Research Centre. 2019. Vol. 1(387).

- P. 143–154. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-387-143-154 (*in Russian*).
3. *Balyuk N.V., Kechiev L.N., Stepanov P.V.* Strong electromagnetic pulse impact on electronic equipment and ways to confront it. Moscow : Group IDT. 2008. 478 p. (*in Russian*).
 4. Scientific and engineering support in protection technologies for marine objects against strong electromagnetic effects / *A.M. Vishnevsky, B.N. Gorodetsky, A.I. Gorshkov, Ye.A. Svyadosh* // *Morskoy Vestnik*. 2017. Vol. 2(62). P. 75–77 (*in Russian*).
 5. *Kechiev L.N., Balyuk N.V.* Foreign military standards for EMC. Moscow : Grifon, 2014. 447 p. (*in Russian*).
 6. Industrial Standard OST5R.0754–2012 Ships and marine structures. Rules for organization of activities intended to ensure electromagnetic compatibility in design, construction and operation of ships and marine structures and during development and delivery of their equipment. St. Petersburg. 2012. P. 3–8 (*in Russian*).
 7. *Gorodetsky B.N., Petrov S.V.* Test facilities for electromagnetic compatibility and electromagnetic protection of marine technical objects // *Technologies of electromagnetic compatibility*. 2015. Vol. 2(53). P. 23–30 (*in Russian*).
 8. Configuration specifics of mobile equipment for EMC testing of ship radioelectronics and other systems / *P.V. Blinkov, A.M. Vishnevsky, B.N. Gorodetsky, Ye.A. Svyadosh* // *Transactions of the XIXth International Scientific and Technical Conference “Radiolocation, Navigation, Communications (RLNC)”*. 2013. Vol. 3. P. 1981–1985 (*in Russian*).
 9. *Gorodetsky B.N.* Full-scale simulation of electromagnetic interference in ship spaces // *Morskoy Vestnik*. 2017. Vol. 1(61). P. 99–101 (*in Russian*).
 10. *Gorodetsky B.N., Kalyada T.V., Petrov S.V.* 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

Городецкий Борис Николаевич, д.т.н., старший научный сотрудник, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-45-80. E-mail: bngor46@gmail.com.

Вишневский Александр Михайлович, д.т.н., профессор, начальник отделения ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-65-10. E-mail: amvspb@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4795-0113>.

Горшков Александр Иванович, к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-49-63. E-mail: aig64@rambler.ru.

About the authors

Boris N. Gorodetsky, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-45-80. E-mail: bngor46@gmail.com.

Aleksandr M. Vishnevsky, Dr. Sci. (Eng.), prof., Head of Department, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-65-10. E-mail: amvspb@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4795-0113>.

Aleksandr I. Gorshkov, Cand. Sci. (Eng.), Lead Researcher, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-49-63. E-mail: aig64@rambler.ru.

Поступила / Received: 28.11.22

Принята в печать / Accepted: 03.02.23

© Городецкий Б.Н., Вишневский А.М., Горшков А.И., 2023