

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-161-167

УДК 629.5.018.72:537.8

Б.Н. Городецкий

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

# ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СТОЙКОСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

**Объект и цель научной работы.** В работе рассматриваются вопросы физического моделирования электромагнитных полей для оценки стойкости корабельных технических средств в натуральных условиях. Рассмотрены особенности моделирования электромагнитной обстановки в корабельных помещениях для внутрисистемных и внесистемных внешних электромагнитных воздействий, а также особенности испытательного оборудования для имитации электромагнитных воздействий при реализации методов физического натурального моделирования.

**Материалы и методы.** Обоснование методов и условий физического натурального моделирования электромагнитной обстановки в корабельных помещениях и имитации силовых электромагнитных воздействий в работе основывается на принципах и основных положениях классической теории подобия, позволяющей обеспечить достоверность результатов моделирования.

**Основные результаты.** Обоснована методика экспериментальной оценки стойкости корабельных технических средств в натуральных условиях. Рассмотрены особенности необходимого испытательного оборудования. Сложность решенной задачи определяется необходимостью имитации электромагнитных воздействий источников различной физической природы, непосредственная реализация которых при моделировании не представляется возможной, а также необходимостью обеспечения сохранности корабельных технических средств после завершения натурального моделирования.

**Заключение.** Разработанная методика оценки стойкости корабельных технических средств при внутрисистемных и внешних силовых преднамеренных электромагнитных воздействиях может быть использована в натуральных условиях при физическом моделировании электромагнитной обстановки в корабельных помещениях, позволяющем определить уровни воздействий в местах размещения технических средств и личного состава, а также оценить эффективность и достаточность использованных защитных средств и проведенных мероприятий. Рассмотренный в работе комплекс испытательного оборудования в рамках электромагнитной автономной мобильной лаборатории, созданной на базе микроавтобуса, обеспечивает возможность проведения испытаний как в натуральных условиях, так и на стендах разработчиков корабельных технических средств и заводов-изготовителей.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, корабль, электромагнитные воздействия, стойкость технических средств, электромагнитная совместимость, физическое моделирование, натурные испытания, испытательное оборудование.

*Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

## SHIP SIGNATURES

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-161-167

UDC 629.5.018.72:537.8

B. Gorodetsky

Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

# PHYSICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC EFFECTS IN ROBUSTNESS ASSESSMENT OF SHIP EQUIPMENT IN REAL CONDITIONS

**Object and purpose of research.** This paper discusses physical modeling of electromagnetic fields to assess robustness of ship equipment in real conditions. It tackles the specifics of electromagnetic environment formation in ship spaces

*Для цитирования:* Городецкий Б.Н. Физическое моделирование электромагнитных воздействий при оценке стойкости корабельных технических средств в натуральных условиях. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 386(4): 161–167.

*For citations:* Gorodetsky B. Physical modeling of electromagnetic effects in robustness assessment of ship equipment in real conditions. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; 386(4): 161–167 (in Russian).

in terms of inside-system and outside-system external electromagnetic effects, and also describes peculiarities of test equipment for simulation of electromagnetic effects in full-scale physical experiments.

**Materials and methods.** Methods and conditions of full-scale physical modeling of electromagnetic environment in ship spaces and simulation of adverse electromagnetic effects is based on principles and main provisions of the classic similarity theory that enables reliability of modeling results.

**Main results.** This paper justifies robustness test procedure for full-scale ship equipment and discusses peculiarities of the equipment required to perform these tests. The task is quite complex because simulation must include electromagnetic effects of various nature that cannot be simulated directly in the experiment, as well as because ship equipment must not be damaged during full-scale tests.

**Conclusion.** Robustness test procedure for ship equipment under inside-system electromagnetic effects and external electromagnetic attacks suggested in this paper can be applied in full-scale physical modeling of electromagnetic environment in ship spaces, making it possible to determine the levels of effects in the locations of equipment and crew, as well as to assess efficiency and sufficiency of adopted protective tools and measures. The set of test equipment discussed in this paper is basically an autonomous mobile electromagnetic laboratory put into a van. This laboratory can perform tests both in real conditions and at the test rigs of equipment developers and manufacturers.

**Keywords:** electromagnetic field, ship, electromagnetic effects, equipment robustness, electromagnetic compatibility, physical modeling, full-scale tests, test equipment.

*Author declares lack of the possible conflicts of interests.*

Чрезвычайная насыщенность современных кораблей и судов взаимосвязанными радиоэлектронными системами (РЭС) и другими техническими средствами (ТС) различного назначения (электрооборудования, автоматизированных систем управления и пр.) привела к существенному снижению их стойкости в условиях мощных электромагнитных воздействий различной физической природы, а также к ухудшению условий обеспечения безопасности личного состава. В последние годы указанная проблема стала особенно актуальной в связи с заметной активизацией во всем мире работ, направленных на разработку генераторов мощного электромагнитного излучения, обладающего поражающим действием применительно как к ТС, так и личному составу [1, 2]. Работы по созданию таких генераторов преднамеренного силового электромагнитного излучения активно проводятся в США, Великобритании, Франции, ФРГ, Швеции, Индии, Китае и ряде других стран. При этом США и их союзники уже успешно использовали электромагнитное оружие (ЭМО) в ряде локальных конфликтов для реализации своих военно-стратегических планов.

Особую опасность представляют ядерно-физические источники излучения, для которых характерно не только очень мощное электромагнитное излучение, обладающее поражающим эффектом на расстоянии в несколько тысяч километров, но и мощное сопутствующее ионизирующее излучение, которое является, с одной стороны, дополнительным источником мощного вторичного электромагнитного импульса (ВЭМИ), а с другой стороны – самостоятельным поражающим фактором ядерно-физических источников, параметры кото-

рого регламентируются в соответствующих нормативных документах. При этом корабль, его ТС и личный состав подвергаются синергетическому воздействию электромагнитных и радиационных поражающих факторов.

Для анализа формирования электромагнитной помеховой обстановки в корабельных помещениях в местах размещения ТС и личного состава целесообразно воспользоваться представлением корабля как единой интегрированной системы «корабль – ТС – личный состав» [3, 4]. Такое представление дает возможность рассмотреть электромагнитные воздействия различного происхождения на ТС и личный состав корабля с единых методических позиций.

В этом случае электромагнитная помеховая обстановка в корабельных помещениях определяется не только помехоэмиссией многочисленных взаимосвязанных функционирующих корабельных ТС (внутрисистемные воздействия), но и внесистемными внешними электромагнитными воздействиями естественного и искусственного происхождения. К внешним электромагнитным воздействиям естественного происхождения относятся молния, электростатические разряды и пр., а к воздействиям искусственного техногенного происхождения – излучение «чужих» радиолокационных станций, линий электропередач и других внешних объектов, а также преднамеренные внешние силовые электромагнитные воздействия террористической или военной направленности [1].

Таким образом, определение параметров электромагнитной обстановки является ключевым моментом не только при определении электромагнитной совместимости (ЭМС) корабельных ТС в тра-

диционном понимании [3], но и при определении их стойкости и безопасности личного состава при внешних силовых электромагнитных воздействиях, а также при оценке эффективности реализованных средств и мероприятий для защиты ТС и обеспечения безопасности личного состава. При этом в соответствии с существующей терминологией [5] под электромагнитной обстановкой понимают совокупность электромагнитных явлений, характеризующихся пространственным, амплитудно-временным и частотным распределениями.

Следует отметить, что в силу сложности построения корабельных РЭС и других ТС расчетные методы позволяют осуществить лишь прогнозную оценку параметров электромагнитной обстановки на ранних стадиях проектирования ТС. Это связано с тем, что аналитические методы не позволяют учесть реальные геометрические особенности корабельных конструкций, а численные методы, использующие, как правило, стандартные универсальные пакеты программных средств, требуют сложной адаптации программного обеспечения для решения даже частных задач обеспечения ЭМС ТС и их защиты от внешних силовых электромагнитных воздействий. От указанных недостатков в значительной мере свободны методы физического моделирования. Однако и их применение ограничивается необходимостью изготовления дорогостоящих физических моделей корабельных корпусных конструкций и использования сложных методик проведения эксперимента, а также крупномасштабных специализированных стационарных стендов.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости разработки методов, которые, в соответствии с существующей терминологией [6], можно определить как методы «натурного» физического моделирования. Они позволяют производить непосредственное определение параметров электромагнитной обстановки и оценку реакции ТС в натуральных корабельных условиях (коэффициент геометрического подобия будет всегда равен единице) путем моделирования помехоактивности реальных ТС на основе выбора их режимов по заданному алгоритму. При этом дополнительно должны моделироваться (имитироваться) те воздействия, которые могут иметь место в реальных условиях, но источники которых не допускают непосредственного натурного воспроизведения в процессе моделирования. Последняя ситуация относится, прежде всего, к внешним преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям, обусловленным мощны-

ми, в том числе ядерно-физическими, источниками излучения.

Методы натурного моделирования дают возможность учесть все реальные особенности корабельных конструкций, схем и условий размещения ТС и кабельных трасс, а также определить реакцию ТС на внутрисистемные и внешние силовые воздействия и оценить их предельно допустимые уровни. Очевидно, что результаты таких экспериментальных оценок будут обладать максимальной степенью достоверности и, кроме этого, могут быть использованы для верификации разрабатываемых расчетных алгоритмов и программных средств.

Из изложенного следует, что можно выделить две группы практических задач, связанных с моделированием электромагнитной помеховой обстановки в натуральных корабельных условиях.

Первая из них относится к моделированию внутрисистемной помеховой обстановки в условиях штатного функционирования корабельных ТС в рабочих режимах при решении традиционных задач обеспечения ЭМС корабельных ТС. В этом случае, как уже отмечалось, составляется алгоритм работы отдельных ТС с целью выявления тех ТС, которые обладают наибольшей помехоактивностью и вносят наибольший вклад в уровни электромагнитных полей в выбранном корабельном помещении. Параметры электромагнитной обстановки, включающие амплитудно-временные и частотные спектральные характеристики этих полей, определяются путем прямых измерений в выбранных пространственных точках – местах установки помехочувствительных ТС и размещения личного состава. При этом производится оценка штатного функционирования на всех рабочих режимах ТС на отсутствие сбоев и нарушений функционирования, обусловленных электромагнитной помеховой обстановкой, включая соответствующие кондуктивные помехи.

Значительно сложнее обстоит дело с решением практических задач второй группы, к которой относятся задачи определения помехоустойчивости, а по существу – стойкости ТС при внешних электромагнитных воздействиях. Как и для задач первой группы, в этом случае определяется стойкость (помехоустойчивость) корабельных ТС в условиях моделируемой помеховой электромагнитной обстановки в корабельных помещениях. Однако при этом на фоне электромагнитных воздействий, обусловленных помехоактивностью имеющихся корабельных ТС при их штатном функционировании, необходимо

дополнительно задать воздействия, соответствующие внешним электромагнитным воздействиям.

Следует отметить, что задание только внешних воздействий без учета максимально неблагоприятной внутрисистемной помеховой обстановки может привести к завышению оценок запаса стойкости ТС и нарушению их штатного функционирования в условиях реальных поражающих преднамеренных силовых электромагнитных воздействий.

Необходимость учета внешних воздействий резко усложняет поставленную задачу. Дело в том, что в настоящее время для преднамеренных внешних воздействий, представляющих наибольшую опасность для корабельных ТС и личного состава, амплитудно-временные и частотные спектральные параметры регламентированы только для ограниченного круга внешних источников излучения [7]. В большинстве же случаев параметры этих воздействий априори неизвестны и обусловлены задачей нанесения максимального поражающего эффекта конкретному объекту поражения с учетом его специфических особенностей. Последнее обстоятельство приводит к необходимости предварительного прогнозирования параметров потенциально возможных источников преднамеренных воздействий с последующим их моделированием (имитацией) в процессе эксперимента.

Еще одна трудность моделирования внешних преднамеренных электромагнитных воздействий связана с тем, что такое воздействие должно иметь неразрушающий характер относительно имеющих в корабельных помещениях ТС. Это обстоятельство обусловлено тем, что ТС современного корабля, который является одним из самых дорогостоящих промышленных объектов, не могут быть поражены или уничтожены при определении их стойкости и оценке эффективности используемых средств защиты.

Преодолеть указанную трудность можно, если допустить, что задача является линейной относительно уровня воздействий. Тогда, задавая внешние воздействия заведомо допустимого уровня, можно определить параметры электромагнитной помеховой обстановки и реакцию ТС, а в дальнейшем – экстраполировать полученные результаты с учетом требуемого уровня внешних преднамеренных воздействий. Аналогичным образом можно поступать при моделировании ядерно-физических источников излучения [8], реализация которых в натуральных условиях корабля принципиально невозможна, а также при контроле состояния и оценке эффективности реализованного комплекса средств защиты.

В методике моделирования электромагнитной обстановки в корабельных помещениях при внешних преднамеренных электромагнитных воздействиях целесообразно использовать принцип «слабого звена». В этом случае на основе результатов предварительного анализа размещения наиболее помехочувствительных ТС выбираются «опасные» помещения, на которые оказываются локальные электромагнитные воздействия, что дает возможность снизить требования по излучаемой мощности и диаграмме направленности используемых при моделировании имитаторов внешнего излучения.

Кроме изложенных методов, при натурном моделировании могут быть использованы приближенные расчетно-экспериментальные методы моделирования электромагнитной обстановки. В этом случае расчетным путем или на основе имеющихся результатов натуральных измерений предварительно определяются уровни и частотные спектры электромагнитных полей в корабельных помещениях при внешних воздействиях с учетом экранирующего действия корпусных конструкций. После этого полученные уровни полей воспроизводятся внутри корабельных помещений с помощью специальных имитаторов, устанавливаемых непосредственно внутри помещений.

Из рассмотрения проблемы следует, что решение поставленных задач и практическая реализация методов натурного моделирования невозможны без использования специализированного аппаратного обеспечения, включающего соответствующие имитаторы внешних воздействий и средства измерений.

Для реализации рассмотренных методов натурного физического моделирования электромагнитной помеховой обстановки в корабельных помещениях в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в настоящее время в рамках создания отраслевой экспериментальной базы для обеспечения ЭМС ТС современных кораблей и их защиты от силовых электромагнитных воздействий создана специализированная автономная мобильная электромагнитная лаборатория, оснащенная как установками собственного производства, так и аппаратурой и приборами ведущих зарубежных фирм [10]. Вся используемая аппаратура, автономные экспериментальные установки и источники питания этой лаборатории смонтированы на передвижной автономной платформе, выполненной на базе микроавтобуса «Форд» (рис.).

Применительно к решению задач первой группы по моделированию помеховой обстановки при решении традиционных задач обеспечения ЭМС

**Рис.** Структура электромагнитной мобильной автономной лаборатории

**Fig.** Components of autonomous mobile electromagnetic lab



корабельных ТС используемая аппаратура обеспечивает возможность формирования 17 самостоятельных стендовых установок, позволяющих измерить параметры электромагнитной обстановки, оценить помехоэмиссию и помехоустойчивость корабельных ТС, а также произвести поиск основных источников помех.

Установки для оценки помехоустойчивости ТС позволяют провести проверки на устойчивость к кондуктивным помехам, гармоническому низкочастотному и радиочастотному магнитному полю, к наносекундным импульсным помехам, к микросекундным импульсным помехам большой энергии и помехам общего вида. Установки для оценки помехоэмиссии ТС позволяют провести проверки оборудования на кондуктивные и излучаемые промышленные радиопомехи, а также регистрировать параметры электромагнитных полей от постоянных до сверхвысокочастотных. Установки для поиска источников помех в кабельной сети корабельной электроэнергетической системы позволяют выявить источники наводок на основе анализа спектральных составляющих сигналов.

Сложнее обстоит дело с имитаторами внешних электромагнитных воздействий. Практическая реализация таких имитаторов наиболее просто может

быть выполнена на базе оборудования специализированных морских полигонов. Полигонный вид испытаний, как наиболее надежный, информативный и приближенный к реальным условиям эксплуатации кораблей при воздействии внешнего силового электромагнитного излучения, в настоящее время широко используется в некоторых зарубежных странах [9] и, в частности, в США. Однако создание подобного полигонного испытательного оборудования является высокочастотным, а проведение испытаний реальных кораблей требует разработки специальных методик определения уровней воздействий, позволяющих гарантировать неразрушающий для ТС характер контроля параметров электромагнитной обстановки в корабельных помещениях.

В связи с этим в рамках создаваемой экспериментальной базы был реализован другой вариант, основанный на использовании мобильных имитаторов внешних силовых воздействий, входящих в состав создаваемой автономной электромагнитной лаборатории. В качестве таких устройств были использованы излучатели собственной разработки «Торнадо» и ИП-3, а также излучатель сверхширокополосных электромагнитных импульсов ИК100-3К.

Имитатор «Торнадо» предназначен для создания импульсного электромагнитного поля, воздействующего на ТС непосредственно в местах их установки в корабельных помещениях. Характеристики воспроизводимого импульса соответствуют параметрам импульсов ядерно-физических источников внешних силовых воздействий. При этом имитатор позволяет воспроизводить видеоимпульсы заданной амплитуды длительностью порядка десятков наносекунд при длительности фронта порядка единиц наносекунд. Имитатор «Торнадо» может устанавливаться как вне, так и внутри корабельных помещений. В последнем случае характеристики воспроизводимого импульса определяются предварительно с учетом экранирующего действия корпусных конструкций корабельных помещений на основе расчетных оценок и экспериментальных данных.

Система полеобразования в высокочастотной части спектра выполнена в виде специально разработанной излучающей антенны, представляющей собой две рамки в форме трапеций из одностороннего фольгированного стеклотекстолита, находящиеся под углом  $60^\circ$  друг к другу и соединенные диэлектрической планкой с нагрузочным сопротивлением. Антенна для излучения низкочастотной магнитной составляющей электромагнитного импульса представляет собой рамку в виде витка треугольной формы. Антенна для излучения низкочастотной электрической составляющей представляет собой электрический диполь, а для излучения высокочастотных составляющих электромагнитного поля в антенных пластинах, имеющих форму трапеций, сделаны отверстия с размерами, увеличивающимися по мере удаления от места подключения. При этом антенна является логопериодической частотно независимой, излучающей широкий спектр частот.

Имитатор ИП-3 предназначен для имитации источников микроволнового электромагнитного излучения. Имитатор воспроизводит электромагнитное излучение в виде периодической последовательности сверхвысокочастотных импульсно-модулированных сигналов с монохроматической несущей частотой 2,5 ГГц и изменяемой амплитудой и длительностью импульсов. Конструктивно он состоит из двух блоков – питания и управления, а также рупорной ТЕМ-антенны. Плотность потока энергии на расстоянии 1 м от среза излучающей антенны – не менее  $200 \text{ Вт/м}^2$ .

Установка ИК100-3К предназначена для имитации видеоимпульсов, имеющих длительность

150–250 нс с длительностью переднего фронта около 50 нс при частоте повторения импульсов 1–5 кГц. Установка ИК100-3К состоит из полупроводникового генератора разработки фирмы НПАО «ФИД-Техника» [2] с амплитудой выходного напряжения 100 кВ и четырехмодульной рупорной ТЕМ-антенны.

В заключение отметим, что мобильные установки и аппаратура автономной электромагнитной лаборатории позволяют решать еще целый ряд практически значимых задач помимо перечисленных. К ним относятся проверка качества монтажа радиоэлектронного оборудования и кабельных трасс, оценка показателей качества электрической энергии в корабельных сетях электропитания, а также определение параметров электромагнитной безопасности и санитарно-гигиенических норм. Кроме этого, используемая аппаратура мобильной лаборатории позволяет производить испытания ТС не только в натуральных условиях корабельных помещений, но на стендах разработчиков корабельных ТС и заводов-изготовителей.

## Библиографический список

1. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий. Томск: Томский гос. университет, 2002.
2. Ефанов В.М., Крикленко А.В., Бердышев А.В., Нестеров Е.В., Провоторов Г.Ф., Щеголеватых А.С. Излучатели мощных электромагнитных импульсов наносекундного диапазона длительностей большой пиковой мощности // Труды XVIII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, Навигация, Связь». 2012. Т. 2. С. 1398–1404.
3. Вишневецкий А.М., Городецкий Б.Н., Горшков А.И. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости в судостроении // Технология ЭМС. 2015. № 2(53). С. 31–37.
4. Городецкий Б.Н. Проблема обеспечения электромагнитной безопасности морских технических объектов // Технология ЭМС. 2015. № 4(55). С. 13–20.
5. ГОСТ 30372-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
6. Основы теории подобия и моделирования. Терминология. Вып. 88. М.: Наука, 1973.
7. Кечиев Л.Н., Балюк Н.В. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС. М.: Грифон, 2014.
8. Городецкий Б.Н. Исследование воздействия на корабельные системы электромагнитного импульса // Флагман корабельной науки. Т. 6. СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2009. С. 114–117.
9. Giles J.C., Prather W.D. High-altitude nuclear electromagnetic pulse simulators // IEEE Transactions

- on electromagnetic compatibility. 2013. Vol. 55. No. 3. P. 484–491.
10. Блинков П.В., Вишневецкий А.М., Городецкий Б.Н., Свядоц Е.А. Особенности построения мобильного испытательного оборудования для определения параметров электромагнитной совместимости судовых радиоэлектронных систем и других технических средств // Труды XIX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, Навигация, Связь». 2013. Т. 3. С. 1981–1985.
  6. Foundations of similarity and simulation theory. Terminology. Issue 88. M.: Nauka, 1973 (*in Russian*).
  7. Kechiev L., Balyuk N. Foreign military standards of EMC. M.: Grifon, 2014 (*in Russian*).
  8. Gorodetsky B. Electromagnetic pulse effect on ship systems // Flagship of ship science. Vol. 6. SPb.: KSRI, 2009 (*in Russian*).
  9. Giles J.C., Prather W.D. High-altitude nuclear electromagnetic pulse simulators // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. 2013. Vol. 55. No. 3. P. 484–491.
  10. Blinkov P., Vishnevsky A., Gorodetsky B., Svyadosh Ye. Configuration specifics of mobile equipment for EMC testing of ship radioelectronics and other systems // Transactions of the XIX<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference *Radiolocation, Navigation, Communications* (RLNC). 2013. Vol. 3. P. 1981–1985 (*in Russian*).
- 
- ## References
1. Electromagnetic terrorism at dawn of the new millennium. Tomsk State University, 2002 (*in Russian*).
  2. Yefanov V., Krikkenko A., Berdyshev A., Nesterov Ye., Provotorov G., Shegolevatykh A. Strong nano- and picosecond electromagnetic pulse emitters with high peak power // Transactions of the XVIII<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference *Radiolocation, Navigation, Communications* (RLNC). 2012. Vol. 2. P. 1398–1404 (*in Russian*).
  3. Vishnevsky A., Gorodetsky B., Gorshkov A. The electromagnetic compatibility problem for shipbuilding // Technologies of electromagnetic compatibility. 2015. No. 2(53). P. 31–37 (*in Russian*).
  4. Gorodetsky B. The problem of the electromagnetic safety providing of the naval technical objects // Technologies of electromagnetic compatibility. 2015. No. 4(55). P. 13–20 (*in Russian*).
  5. GOST 30372-95. Electromagnetic compatibility of equipment. Terms and definitions (*in Russian*).
- 
- ## Сведения об авторе
- Городецкий Борис Николаевич, д.т.н., начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 415-46-78. E-mail: bngor@gmail.com.
- 
- ## About the author
- Boris N. Gorodetsky, Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe shosse, Saint-Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-45-80, +7 (905) 254-38-98. E-mail: bngor46@gmail.com.

Поступила / Received: 14.08.18  
Принята в печать / Accepted: 13.11.18  
© Городецкий Б.Н., 2018