

УДК: 656.61:621.396.7

DOI [10.26102/2310-6018/2025.51.4.050](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.050)

Модели условий испытаний береговых объектов систем обеспечения безопасности мореплавания в диапазонах средних и очень высоких частот

В.И. Коваленко¹, В.В. Громоздин^{1,2}, Ю.М. Искандеров³, А.П. Беспалов⁴

¹Филиал НИЦ Телеком в городе Севастополе (ИЦ «Омега»), Севастополь,
Российская Федерация

²Севастопольский государственный университет, Севастополь,
Российская Федерация

³Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской
академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴Государственный университет морского и речного флота имени адмирала
С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Резюме. В работе исследован вопрос создания моделей при проведении испытаний береговых объектов систем обеспечения безопасности мореплавания в диапазонах средних и очень высоких частот при отсутствии возможности непосредственного обеспечения наихудших условий проведения испытаний и параметров судового оборудования при обеспечении соответствия таких испытаний определению термина «натурные испытания». Определены объект испытаний, испытательное оборудование и условия испытаний и их распределение на стороне судна и на стороне береговой станции. Определены критерии подтверждения границ рабочих зон в виде напряженности поля на стороне судна и в виде электродвижущей силы на стороне береговой станции. Предложены и проанализированы соответствующие математические модели учета наихудших значений условий испытаний, обусловленные воздействием внешних факторов, и наихудших значений допустимых параметров судового оборудования для основных технических средств, применение которых обеспечивает соответствие испытаний определению термина «натурные испытания». Отмечена необходимость внесения требований в соответствующие нормативные документы по проценту требуемой доступности технических средств диапазона очень высоких частот и допустимости испытаний, не соответствующих в полной мере определению термина «натурные испытания» в случае отсутствия организационной или технической возможности отправки испытательного судна на границы рабочих зон.

Ключевые слова: натурные испытания, береговой объект, морская радиосвязь, граничная дальность, рабочая зона, отношение сигнал/шум, напряженность электромагнитного поля, фактическая чувствительность радиоприемника, средние частоты, очень высокие частоты.

Благодарности: Представленный материал является одним из результатов многолетней работы по созданию стандартизованных методик проведения НИ БО и центров СОБМ. Авторы выражают глубокую благодарность Мешкову Юрию Васильевичу и Тетереву Владимиру Евгеньевичу, на период выполнения этой работы являющимися ведущими специалистами ФГУП «Росморпорт», за неоценимые консультации и профессиональное оппонирование даже в тех случаях, когда мнения авторов и оппонентов расходились.

Для цитирования: Коваленко В.И., Громоздин В.В., Искандеров Ю.М., Беспалов А.П. Модели условий испытаний береговых объектов систем обеспечения безопасности мореплавания в диапазонах средних и очень высоких частот. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(4). URL: <https://moitvivt.ru/tu/journal/pdf?id=2050> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.050

Models of test conditions for coastal facilities of maritime safety systems in the medium and very high frequency ranges

V.I. Kovalenko¹, V.V. Gromozdin^{1,2}, Yu.M. Iskanderov³, A.P. Bespalov⁴

¹Branch of the NRC Telecom in Sevastopol (TC «Omega»), Sevastopol, the Russian Federation

²Sevastopol State University, Sevastopol, the Russian Federation

³St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, the Russian Federation

⁴Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, the Russian Federation

Abstract. The paper studies the issue of creating models for testing coastal objects of navigation safety systems in the medium and very high frequency ranges in the absence of the possibility of directly ensuring the worst conditions for testing and parameters of ship equipment while ensuring that such tests comply with the definition of the term "verification test in site". The test object, test equipment and test conditions and their distribution on the ship side and on the shore station side are determined. The criteria for confirming the boundaries of working zones in the form of field strength on the ship side and in the form of electromotive force on the shore station side are determined. The corresponding mathematical models for taking into account the worst values of test conditions caused by the influence of external factors and the worst values of permissible parameters of ship equipment for the main technical means, the use of which ensures that the tests comply with the definition of the term "verification test in site", are proposed and analyzed. The need was noted for introducing requirements into the relevant regulatory documents regarding the percentage of required availability of technical means in the very high frequency range and the admissibility of tests that do not fully correspond to the definition of the term "verification test in site" in the event of the absence of organizational or technical capability to send a test vessel to the boundaries of working zones.

Keywords: full-scale tests, coast object, marine radio communication, boundary range, coverage area, signal-to-noise ratio, electromagnetic field strength, actual sensitivity of a radio receiver, medium frequencies, very high frequencies.

Acknowledgments: This material is the result of many years of work to develop standardized methods for conducting NIBO and SOBM centers. The authors express their deep gratitude to Yuri Vasilyevich Meshkov and Vladimir Evgenievich Teterev, leading specialists at Rosmorport during the period of this work, for their invaluable consultations and professional advice, even when the authors' opinions differed.

For citation: Kovalenko V.I., Gromozdin V.V., Iskanderov Yu.M., Bespalov A.P. Models of test conditions for coastal facilities of maritime safety systems in the medium and very high frequency ranges. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(4). (In Russ.). URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=2050> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.050

Введение

При освидетельствовании береговых объектов (БО) и центров систем обеспечения безопасности мореплавания (СОБМ) в случае невозможности подтверждения в лабораторных условиях отдельных технических и/или эксплуатационных параметров технических средств системы управления движением судов (СУДС) и глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ) проводятся натурные испытания (НИ)¹ [1]. Фактические географические границы рабочих зон и другие эксплуатационные характеристики технических средств определяются после

¹ Приказ Министерства транспорта РФ от 10 февраля 2010 г. № 32 «Об утверждении Положения об одобрении типов аппаратуры и освидетельствовании объектов и центров».

завершения строительства (или реконструкции) СУДС посредством натурных испытаний (НИ)² [2]. Эти испытания проводятся, в том числе, на тестовых акваториях [3]. Кроме того, НИ применяются при вводе в эксплуатацию новых объектов и технических средств [4]. Границы рабочих зон объектов ГМССБ устанавливаются на основе критериев, изложенных в резолюции MSC.509(105)³, и уточняются при проведении НИ.

На основе результатов НИ уполномоченными организациями по проведению работ по освидетельствованию БО и центров принимаются решения по выдаче соответствующего свидетельства о соответствии [5]. Проведение НИ должно учитывать наихудшие возможные условия эксплуатации берегового объекта [6], которые зачастую сложно или невозможно обеспечить на период проведения испытаний [7].

Сложность обеспечения наихудших возможных условий, которые возможны при работе БО ГМССБ МР А2 и службы НАВТЕКС в диапазоне средних частот (СЧ) в основном определяется сезонной и суточной зависимостью внешних атмосферных шумов. Неравномерность медианных значений коэффициента внешнего шума F_{at} для требуемой доступности, определяемая в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р М.1467-1⁴, может достигать $10 \div 15$ дБ, а его максимальное значение быть в течение 2 часов в год. Проводить испытания только в такие короткие промежутки времени крайне затруднительно. Практически же и в эти промежутки обеспечить наихудший уровень шума не представляется возможным, т. к. дополнительно рассчитывается коэффициент шума с учетом требуемой доступности F_a (для обеспечения требуемого процента превышения уровня сигнала над уровнем шума на приемлемую величину в течение приемлемого интервала времени), что, соответственно, добавляет неравномерности к сезонным и суточным колебаниям. Наихудший коэффициент шума, требуемый для обеспечения в процессе проведения испытаний, отличается от реально существующего в том же сезонном и суточном интервале выше примерно на 10 дБ \div 20 дБ. Если известны сезонные и суточные статистические зависимости промышленного шума, то они также должны быть учтены своими максимальными значениями на момент проведения испытаний.

В диапазоне очень высоких частот (ОВЧ) также присутствует временная зависимость как уровня внешних шумов, так и самого сигнала. Но природа этих временных колебаний несколько иная [8]. Атмосферная составляющая, имеющая существенные сезонные и суточные колебания, в диапазоне ОВЧ обладает пренебрежимо малым уровнем. Галактический шум имеет практически постоянное значение. На стороне судна уровень промышленного шума в виде палубного шума также имеет постоянное значение и может быть получен из требования⁴ в виде $P_{n_{3\text{МГц}}} = -142$ дБ (Вт/Гц), что хоть и регламентировано для применения при расчетах (и подтверждении в процессе испытаний) зоны покрытия береговыми передатчиками ГМССБ МР А2, но в полной мере может быть отнесено и к соответствующему уровню палубного шума и для диапазона ОВЧ, что при пересчете ко входу РПУ с типовыми параметрами антенн и фидеров составляет ЭДС промышленной составляющей внешнего шума $\approx 0,7 \div 1,5$ мкВ, что соизмеримо с уровнем внутренних шумов, используемых РПУ

² Приказ Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. № 226 «Об утверждении Требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством».

³ Резолюция MSC.509(105) (принята 28 апреля 2022 года) «Обеспечение радиослужб для глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ)».

⁴ Рекомендация МСЭ-Р М.1467-1 «Предварительное определение границ действия для морской зоны А2 и NAVTEX и защита канала оповещения о бедствиях Глобальной морской системы для случаев бедствия и обеспечения безопасности (ГМССБ) в районе А2».

и, соответственно, требует учета. На стороне судна суммарный внешний шум можно считать стационарным. А вот на стороне береговой станции промышленный шум, определяемый не только наличием излучающих радиосредств на самом береговом объекте, но и посторонними объектами за его пределами, может иметь существенную суточную и сезонную зависимость (включение различного энергетического портового оборудования, график работы других промышленных предприятий, подстанции уличного освещения и т. д.). Кроме того, и само радио- и электрооборудование берегового объекта, по различным каналам проникновения существенно влияющее на чувствительность береговых РПУ (что определяется степенью обеспеченности ЭМС на береговом объекте), имеет временную зависимость его режимов работы. Таким образом, как в части подтверждения обеспеченности ЭМС путем поддержки во включенном состоянии всего радиооборудования берегового объекта, которое в процессе штатной работы может работать одномоментно, так и в части обеспечения максимального уровня промышленных шумов от посторонних объектов, обеспечение наихудших условий на весь период проведения испытаний является задачей достаточно сложной.

Суда, для которых должны обеспечиваться границы рабочих зон должны быть оборудованы соответствующими техническими средствами с наихудшими значениями параметров, регламентируемыми резолюцией MSC.509(105)³ и правилами по оборудованию судов⁵, что также можно отнести к условиям проведения испытаний.

Наличие указанных факторов объясняет необходимость моделирования наихудших условий испытаний, обусловленных как воздействием внешних факторов, так и наихудшими значениями допустимых параметров судового оборудования, а с учетом непосредственного влияния результатов НИ на обеспечение безопасности мореплавания в указанных границах рабочих зон технических средств берегового объекта, использование любых используемых при этом моделей определяет необходимость их четкого обоснования с точки зрения соответствия таких испытаний определению термина «НИ».

В «ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции»⁶ дано определение термина НИ как испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта. При этом НИ реализуются в случае выполнения трех основных условий:

- испытаниям подвергается непосредственно изготовленная продукция (т. е. объект испытаний) без применения моделей изделия или его составных частей;
- испытания проводятся в условиях и при воздействиях на продукцию, соответствующих условиям и воздействиям использования по целевому назначению;
- определяемые характеристики свойств объекта испытаний измеряются непосредственно и при этом не используются аналитические зависимости, отражающие физическую структуру объекта испытаний и его составных частей. Допускается использование математического аппарата статистической обработки экспериментальных данных.

Таким образом, используемые при НИ модели не должны быть моделями объекта испытаний, должны полностью учитывать наихудшие условия его эксплуатации и позволять определять требуемые характеристики объекта непосредственно без различных дополнительных аналитических зависимостей, за исключением возможной статистической обработки результатов.

⁵ Правила по оборудованию морских судов. Часть IV. Радиооборудование. НД № 2-020101-127.

⁶ ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».

Целью данной работы является создание и анализ математических моделей условий испытаний и параметров судового испытательного оборудования, при использовании которых испытания основных технических средств БО СОБМ полностью соответствуют определению термина «натурные испытания», как это определено в ГОСТ 16504-81⁶.

Материалы и методы

Объект испытаний, условия испытаний, испытательное и вспомогательное оборудование. НИ, проводимые с участием испытательных центров или лабораторий, аккредитованных на проведение соответствующих видов испытаний¹, являются определением одной или более характеристик объекта испытаний согласно установленному способу. Объектом испытаний является береговой объект СОБМ, включающий в себя следующие технические средства (ТС):

- береговые радиолокационные станции (РЛС)*, включая установленные на прибрежных инженерных сооружениях, средства автоматической информационной (идентификационной) системы (АИС), средства обработки, отображения и регистрации информации, средства радиотелефонной связи с судами – для СУДС [9];
- оборудование цифрового избирательного вызова (ЦИВ) и телефонии в диапазоне ОВЧ – для береговых станций морского района (МР) А1 ГМССБ и в диапазоне СЧ – для береговых станций МР А2 ГМССБ;
- береговые станции службы НАВТЕКС.

* *Примечание.* Рассмотрение проведения испытаний РЛС СУДС выходит за рамки данной работы.

Условия проведения испытаний можно разделить на две группы:

- условия, создаваемые внешними воздействующими факторами, воздействующими на свойства радиоканала – замираниями, наличием внешних шумов и помех, электромагнитной совместимостью, ослаблением сигнала в осадках и т. д.;
- условия, воспроизводимые судовыми техническими средствами, которые в данном случае могут рассматриваться как испытательное оборудование, воспроизводящее наихудшие значения технических характеристик судового радиооборудования, допустимого к применению правилами⁵ и соответствующими резолюциями Международной Морской Организации (IMO).

Все рассмотренные условия испытаний также могут быть разделены на «условно переменные (изменяемые)», которые относятся к самому испытываемому береговому объекту, как к объекту испытаний, и на «условно постоянные (константные)», которые относятся к испытательному судну (ИС) с установленным на нем испытательным оборудованием и к наихудшим значениям внешних воздействующих факторов. Обеспечение «условно постоянных» характеристик испытательного оборудования на ИС и внешних факторов (в том числе и уровня палубного шума) является не тривиальной задачей, но принципиально реализуемой. При этом вопрос о требуемой точности соответствия фактических значений параметров и наихудших значений, регламентируемых правилами по оборудованию морских судов⁵ и соответствующими резолюциями IMO, остается открытым, и в общем случае может быть в дальнейшем учтен при оценке неопределенности измерений.

Доставка указанного испытательного оборудования и средств измерения к границам рабочих зон испытываемых технических средств берегового объекта осуществляется с помощью ИС, которое в данном случае является вспомогательным оборудованием. Указанное распределение средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования на береговом объекте и ИС для одного из технических средств (ТС1) изображены на Рисунке 1.

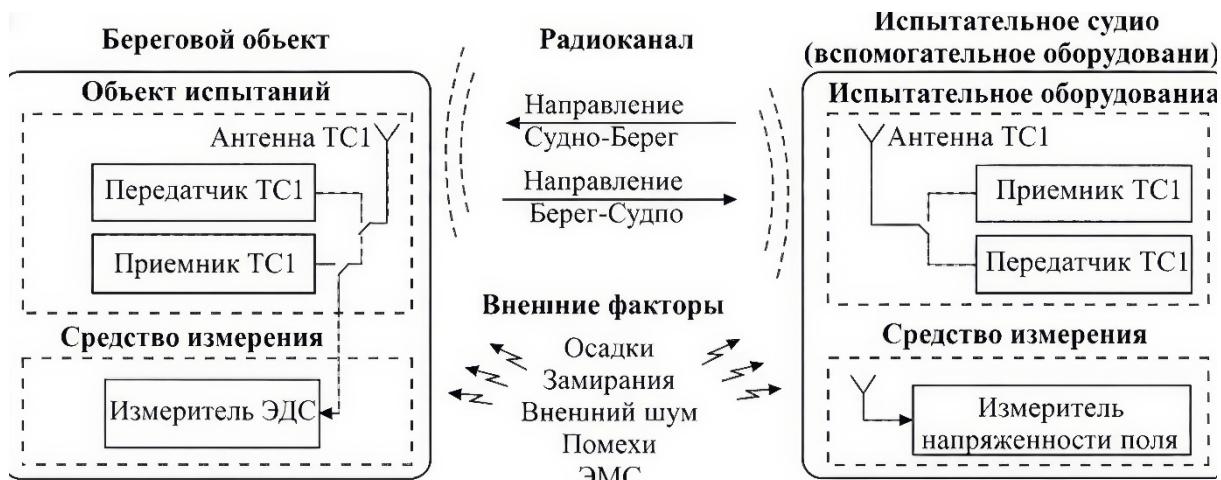


Рисунок 1 – Распределение средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования на береговом объекте и испытательном судне для одного из технических средств
 Figure 1 – Distribution of measuring instruments, testing and auxiliary equipment at the shore facility and test vessel for one of the technical means

При проведении НИ должны быть обеспечены «условно постоянные (константные)» условия испытаний. Только часть условий из воспроизводимых судовыми техническими средствами могут быть обеспечены непосредственно (мощность передатчика, эффективность антенны, затухание в фидерах и т. д.), но большая часть, в основном касающаяся наихудших значений внешних воздействующих факторов, непосредственно обеспечена быть не может и требует соответствующего моделирования, которое в данной работе основывается на применении математических моделей. Данные модели должны определить количественные значения критериев подтверждения границ рабочих зон при выполнении всех условий определения термина «НИ» в соответствии с ГОСТ 16504-81⁶.

Критерии подтверждения границ рабочих зон. Из приведенного в документах «Об утверждении Положения об одобрении типов аппаратуры и освидетельствовании объектов и центров»¹, «Об утверждении требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством»² следует, что основной эксплуатационной характеристикой объектов СОБМ, определяемой при проведении НИ, является граница рабочих зон основных технических средств (что в большей степени является тактической характеристикой), в то время, как другие эксплуатационные и технические характеристики могут выступать в качестве критериев, которые должны обеспечиваться в пределах границ рабочих зон.

Для технических средств морского района (МР) А2 ГМССБ и НАВТЕКС параметр, являющийся критерием границы рабочих зон, определен документом «Обеспечение радиослужб для глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ)»³ в виде отношения сигнал/шум на радиочастотном входе радиоприемного устройства (РПУ). Там же для МР А1, А2 ГМССБ и НАВТЕКС определено, что граничная дальность должна быть проверена путем измерений напряженности поля, что для технических средств МР А1 ГМССБ также можно рассматривать, как критерий границ рабочих зон, однако количественного значения напряженности поля не приводится.

Для технических средств объектов СУДС² приводится значительный перечень технических и эксплуатационных характеристик, относящихся как к объекту испытаний, так и к испытательному оборудованию, что требует их совокупного применения, существенно усложняя использование их в качестве критериев обеспечения граничной дальности [10].

В качестве объективных критериев могут выступать такие параметры, как отношение сигнал/шум, коэффициент символьных или пакетных ошибок на выходах РПУ соответствующих технических средств берегового объекта, значения которых регламентированы резолюциями IMO. Однако непосредственное их применение наталкивается на ряд трудностей:

- для определения коэффициентов символьных или пакетных ошибок необходима организация опорного канала, что в условиях существенного пространственного разнесения источника и приемника сообщений сделать крайне затруднительно [11];

- успешное проведение испытаний в условиях, не являющихся наихудшими возможными при использовании технических средств берегового объекта по целевому назначению, не гарантирует требуемое качество связи при наихудших условиях;

- субъективная оценка режима телефонии существенно зависит от квалификации, опыта и индивидуальных речеслуховых особенностей оператора радиосвязи как на передающей, так и на приемной стороне. Минимизация влияния индивидуальных особенностей человека путем использования артикуляционной бригады (группы тренированных слушателей и дикторов – молодых людей без нарушений слуха и речи), как это указано в соответствующих стандартах по методам субъективной оценки разборчивости речи, в процессе проведения НИ является крайне трудоемкой задачей.

С целью исключения указанных трудностей в качестве критерия граничной дальности предлагается для всех технических средств использовать отношение сигнал/шум на входах соответствующих РПУ ($SNR_{вх,ном}$), значения которых в диапазоне СЧ (МР А2 ГМССБ и служба НАВТЕКС) уже указаны в резолюции MSC.509(105)³, а для диапазона ОВЧ (МР А1 ГМССБ и СУДС) требуется их определение на основе других технических характеристик.

Как для диапазона СЧ, так и для диапазона ОВЧ удобно пересчитать полученные требуемые отношения сигнал/шум на входах РПУ в требуемую пороговую напряженность поля в точке установки судовой антенны или электродвижущую силу (ЭДС) на входе РПУ (на выходе приемной антенны) береговой станции. Выполнение такого пересчета позволяет учесть наихудшие значения коэффициента внешнего шума (суммарно промышленного, атмосферного, галактического и т. д.), запаса на замирания и степень обеспеченности ЭМС, а на стороне судна – регламентируемого уровня палубного шума и наихудших значений параметров судового оборудования – чувствительности РПУ, затухания в фидерах, коэффициента усиления антенны и т. д. При этом использование параметра напряженности поля в качестве критерия находится в полном соответствии с требованиями резолюции³ о необходимости проверки граничной дальности путем измерений напряженности поля. Использование же в качестве критерия параметра ЭДС на стороне береговой станции обусловлено возможностью (и необходимостью) включения в процесс испытаний всего фактического антенно-фидерного тракта берегового объекта, которое, собственно, и подлежит проверке при проведении испытаний. При этом остается исключенным из испытаний само РПУ, однако его проверка может (и должна) проводиться отдельно путем измерения его фактической чувствительности в составе берегового объекта, что включит в процесс испытаний не только само РПУ, но и весь береговой объект с учетом обеспечиваемой на нем ЭМС.

В общем виде пороговые значения напряженности поля в точке расположения судовой антенны и ЭДС на выходе приемной антенны береговой станции можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{пор}}^{\text{ИС}} &= \max(E_{\text{шп_пр}}^{\text{ИС}}) \cdot SNR_{\text{вх_ном}} \cdot B_{\% \text{ зам}} \cdot \sigma_{\text{ант}}^{\text{ИС}} \\ E_{\text{пор}}^{\text{БС}} &= \max(E_{\text{шп_пр}}^{\text{БС}} \cdot h_{\Delta}^{\text{БС}}) \cdot SNR_{\text{вх_ном}} \cdot B_{\% \text{ зам}} \cdot \sigma_{\text{ант}}^{\text{БС}} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $E_{\text{шп_пр}}^{\text{ИС}}$ и $E_{\text{шп_пр}}^{\text{БС}}$ – приведенные к точке установки антенны суммарная напряженность поля шумов (внешних и внутренних РПУ) и помех (внешних и внутренних на береговом объекте или судне, определяемых ЭМС); $SNR_{\text{вх_ном}}$ – требуемое отношение сигнал/шум на входе РПУ для обеспечения заданных параметров на его выходе. Для РПУ диапазона СЧ эти параметры уже заданы в резолюции³, для РПУ диапазона ОВЧ $SNR_{\text{вх_ном}}$ определяется расчетным или экспериментальным путем, или же из документации с требованиями к соответствующим РПУ по устойчивости к помехе в совмещенном канале; $B_{\% \text{ зам}}$ – поправка на быстрые замирания с учетом требуемого времени доступности радиоканала; $\sigma_{\text{ант}}^{\text{ИС}}$ и $\sigma_{\text{ант}}^{\text{БС}}$ – поправка на неравномерность судовой и береговой антенн; $h_{\Delta}^{\text{БС}} = \frac{\lambda_0}{\pi} \sqrt{\frac{G_{\text{и}} \alpha_{\phi} R_{\text{вх_ант}}}{120}}$ – действующая высота береговой антенны при длине волны λ_0 , коэффициенте усиления относительно изотропного излучателя $G_{\text{и}}$ с учетом потерь в фидере α_{ϕ} и при входном сопротивлении антенн $R_{\text{вх_ант}}$.

Приведенные к точке установки антенны суммарные напряженность поля шумов и помех в общем случае для стороны БС и ИС определяются единообразно:

$$E_{\text{шп_пр}} = \sqrt{E_{\text{ш_внеш}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{ш_внеш}}}{h_0'}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{п_ЭМС}}}{h_0'}\right)^2}, \quad (2)$$

где $E_{\text{ш_внеш}} = 10^{\frac{F_a + 20 \lg f + 10 \lg b - 95,5}{20}} - 6$ – напряженность поля суммарных внешних шумов при коэффициенте шума F_a (дБ) на частоте f (МГц) в полосе b (Гц), определяемая в соответствии с рекомендацией МСЭ-R M.1467-1⁴ и рекомендацией МСЭ-R P.372-17⁷; $\varepsilon_{\text{ш_внеш}} = \frac{\varepsilon_{\text{ном}}}{SNR_{\text{вх_ном}}}$ – ЭДС внутренних шумов РПУ с номинальной чувствительностью $\varepsilon_{\text{ном}}$ и при требуемом отношении сигнал/шум $SNR_{\text{вх_ном}}$ на выходе РПУ; $\varepsilon_{\text{п_ЭМС}}$ – приведенная ко входу РПУ суммарная ЭДС, обусловленная недостаточной обеспеченностью ЭМС на береговом объекте. В общем случае расчет значения $\varepsilon_{\text{п_ЭМС}}$ может быть проведен на основе ГОСТ Р 55898–2013⁸, что требует учета всех возможных каналов проникновения помех в РПУ и их количественных параметров, что на практике крайне затруднительно, в связи с чем такой расчет имеет существенную погрешность.

Определенные приведенными формулами критерии подтверждения границ рабочих зон являются общей математической моделью для направлений берег-судно и судно-берег как для диапазона СЧ, так и для диапазона ОВЧ, однако имеются некоторые особенности.

Особенности применения модели на стороне ИС. На стороне судна ЭМС предполагается обеспеченной, а все влияние судового оборудования учитывается понятием «палубный шум» со спектральной плотностью мощности $P_{n,3\text{МГц}} = -142$ дБ (Вт/Гц) на частоте 3 МГц⁴ с возможностью пересчета в медианное значение коэффициента промышленного шума на нужной частоте f (МГц) с помощью формулы:

⁷ Рекомендация МСЭ-R P.372-17 (08/2024) «Радиошум».

⁸ ГОСТ Р 55898-2013 «Технические средства радиосвязи. Взаимные радиопомехи в локальной группировке. Методы расчета».

$$F_{am}^{\text{ппш}}[\text{дБ}] = P_{n_3\text{МГц}} - 27,7 \lg(f/3) + 204, \quad (3)$$

с последующим учетом в суммарном коэффициенте шума в соответствии с рекомендацией МСЭ-R M.1467-1⁴, рекомендацией МСЭ-R P.372-17⁷. При этом значение $\varepsilon_{\text{п.ЭМС}}$ на стороне судна принимается равным нулю.

Особенности применения модели в диапазоне СЧ. В диапазоне СЧ основной вклад вносит высокий уровень внешних шумов, а не степень обеспеченности ЭМС, поэтому в общем случае вкладом не только $\varepsilon_{\text{п.ЭМС}}$, но и $\varepsilon_{\text{швнут}}$ можно пренебречь. При необходимости учет ЭМС в диапазоне СЧ возможен по методике, приведенной в [12], с последующим включением в промышленную составляющую шума. Учет быстрых замираний в СЧ диапазоне проводится на основании рекомендаций МСЭ-R M.1467-1⁴ при расчете суммарного коэффициента шума F_a для обеспечения требуемого процента доступности, а требуемое отношение $SNR_{\text{вх.ном}}$ на входе РПУ уже задано в резолюции MSC.509(105)³.

Особым случаем является отсутствие организационной или технической возможности отправки испытательного судна на границы рабочих зон МР А2 ГМССБ и НАВТЕКС, которые простираются до 250 \div 400 м.м. Здесь предлагается использовать то свойство кривых распространения земной волны⁹, что вне зависимости от того, является ли трасса однородной или смешанной, суммарный график напряженности поля асимптотически приближается к форме графика для последнего (как правило, морского) участка с отличием на некоторое постоянное значение $2m$ дБ, определяемое как половина разницы между напряженностями поля участков на границе раздела, что проиллюстрировано на Рисунке 2, и которое с учетом отличия фактически излучаемой мощности передающей антенной от мощности 1 кВт, для которой приведены графики в рекомендации МСЭ-R P.368-8⁹, можно интерпретировать в качестве снижения эффективности передающей антенны, как если бы трасса на всем протяжении была однородной с диэлектрическими свойствами последнего участка.



Рисунок 2 – Асимптотическое приближение графика суммарной напряженности поля $E(d)$ смешанной трассы к напряженности поля морского участка $E_{S2}(d)$ при протяженности наземного участка 10 км

Figure 2 – Asymptotic approximation of the graph of the total field strength $E(d)$ of the mixed route to the field strength of the sea section $E_{S2}(d)$ with a land section length of 10 km

⁹ Рекомендация МСЭ-R P.368-8 «Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц».

Выбирая расстояние измерения от береговой линии (границы раздела участков трассы), равное расстоянию наземного участка, можно провести измерение напряженности поля с погрешностью порядка 3 дБ даже для наибольшей разницы в диэлектрических свойствах участков, определенных в рекомендации МСЭ-R P.368-8⁹ (морская вода со средней соленостью и очень сухая почва). Для обеспечения погрешности менее 1 дБ измерения необходимо проводить на расстоянии от береговой линии не менее, чем в 3 ÷ 5 раз превышающее расстояние от антены берегового центра до береговой линии в заданном направлении.

По результатам измерения напряженности поля на стороне ИС $E_{изм}^{ИС}(d_{изм})$ и ЭДС на выходе приемной антенны БС $\varepsilon_{изм}^{БС}(d_{изм})$ по предварительно рассчитанным значениям требуемых значений напряженности поля $E_{треб}^{ИС}$ и ЭДС $\varepsilon_{треб}^{БС}$ определяются разностные значения:

$$\begin{aligned}\Delta E_{изм}^{ИС}(\text{дБ}) &= E_{изм}^{ИС}(d_{изм}) - E_{треб}^{ИС}, \\ \Delta \varepsilon_{изм}^{БС}(\text{дБ}) &= \varepsilon_{изм}^{БС}(d_{изм}) - \varepsilon_{треб}^{БС},\end{aligned}\quad (4)$$

на основе которых по графику напряженности поля $E^{\text{Рек.368}}$ для соответствующего морского участка в рекомендации МСЭ-R P.368-8⁹ определяются прогнозируемые граничные дальности d_{max} для направлений берег-судно и судно-берег из условий, при которых напряженность поля $E^{\text{Рек.368}}(d_{\text{max}})$ принимает значения:

$$\begin{aligned}E^{\text{Рек.368}}(d_{\text{max}}) &= E^{\text{Рек.368}}(d_{изм}) - \Delta E_{изм}^{ИС}, \\ E^{\text{Рек.368}}(d_{\text{max}}) &= E^{\text{Рек.368}}(d_{изм}) - \Delta \varepsilon_{изм}^{БС}.\end{aligned}\quad (5)$$

Применение такого единообразного метода прогнозирования для обоих направлений основано на теореме взаимности, согласно которой в линейной и изотропной среде ослабление сигнала не зависит от направления¹⁰. Более подробно данный метод определения граничной дальности МР А2 ГМССБ и зоны покрытия службы НАВТЕКС представлен в [13]. При этом определяемая граничная дальность не измеряется непосредственно, что не соответствует одному из условий термина НИ.

Особенности применения модели в диапазоне ОВЧ. Исключение необходимости точного расчета $\varepsilon_{п_ЭМС}$ в диапазоне ОВЧ на стороне береговой станции обусловливается возможностью непосредственного измерения одного из сомножителей в (1) – параметра фактической чувствительности $\varepsilon_{факт}$, определенного в [14], и который относится не к отдельному РПУ, а в целом к береговому объекту (береговой станции) по отношению к рассматриваемому РПУ при соответствующем включении на момент измерения всех возможных источников радиопомех, которые могут работать одномоментно в процессе реальной эксплуатации:

$$\varepsilon_{факт} = \max(E_{шп_пр}^{БС} \cdot h_{д}^{БС}) \cdot SNR_{вх_ном}. \quad (6)$$

Сам метод измерения фактической чувствительности $\varepsilon_{факт}$ в настоящее время не стандартизован, в связи с чем ее измерение предлагается проводить на основе совмещения стандартных методов измерения номинальной чувствительности и измерения устойчивости к помехе в совмещенном канале¹¹ с тем отличием, что:

– в качестве источника помехового сигнала используется штатная антenna соответствующего РПУ, принимающая реальный шумовой и помеховый сигнал на береговом объекте;

¹⁰ Долуханов М.П. *Распространение радиоволн*. Москва: Связь; 1972. 336 с.

¹¹ ETSI EN 301 929 V2.1.1 (2017-03). VHF transmitters and receivers as Coast Stations for GMDSS and other applications in the maritime mobile service; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU.

– сигнал от антенны на вход испытываемого РПУ подается через направленный ответвитель, вносящий минимальное затухание в фидерный тракт;

– для ЦИВ и АИС измерение коэффициента ошибок заменено на определение коэффициента успешно принятых сообщений, что исключает необходимость подключения специализированных измерителей ошибок к точкам, к которым на практике зачастую нет доступа, и при этом позволяет охватить испытаниями все оборудование, включая рабочее место оператора.

Схема измерения фактической чувствительности приведена на Рисунке 3, а сам метод более подробно изложен в [15, 16]. Здесь следует отметить, что при измерениях АИС генератор тестовых сигналов АИС должен иметь собственную antennу, через которую его сообщения синхронизируются по времени и встраиваются в свободный временной интервал от сигналов других станций АИС.

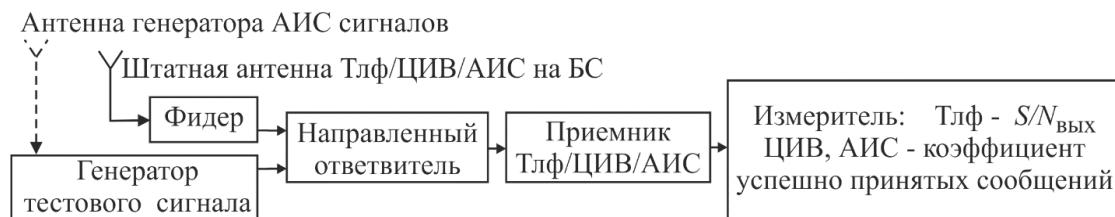


Рисунок 3 – Схема измерения фактической чувствительности на береговом объекте
Figure 3 – Scheme for measuring actual sensitivity at a coastal facility

Учет быстрых замираний в диапазоне ОВЧ возможен на основе наиболее часто встречающегося распределения амплитуды сигнала при интерференционных замираниях в виде распределения Рэлея¹² [17], из которого следует:

$$B_{\% \text{зам}} = \sqrt{\frac{-0,693}{\ln(0,01T(E > E_{\Pi}))}}, \quad (7)$$

где $T(E > E_{\Pi})$ – требуемый процент доступности канала;

С достаточной для практического применения точностью учет рабочего диапазона частот $156 \div 158$ МГц возможен на основе зависимостей, приведенных в [18].

Результаты

Превышение измеренными значениями напряженности поля на стороне судна и ЭДС на выходе береговой приемной антенны пороговых значений, определенных по (1), является критерием обеспечения заданного качества радиосвязи, а сами пороговые значения являются критериями для определения границ рабочих зон технических средств БО и центров СОБМ.

Для диапазона ОВЧ, в котором практически отсутствуют сезонные и суточные изменения внешних шумов⁷, полученные пороговые значения напряженности поля на стороне судна являются величинами постоянными для технических средств телефонии, ЦИВ и АИС любого БО вне зависимости от его географического положения [19].

Учет наихудшего уровня внешних шумов и помех, обусловленных посторонними промышленными объектами и степенью обеспеченности ЭМС на БО, при использовании рассмотренной модели, обеспечивается следующими действиями:

– измерение фактической чувствительности $\epsilon_{\text{факт}}$ как количественной оценки совокупного воздействия внешних и внутренних шумов с одновременным воздействием внешних помех, в том числе обусловленных степенью обеспечения ЭМС. Данный этап

¹² Кубанов В.П. Влияние окружающей среды на распространение радиоволн. Самара: ПГУТИ; 2013. 92 с.

проводится при включении всех передающих устройств береговой станции, которые могут работать одномоментно, в период времени с максимальным уровнем помех от посторонних промышленных объектов, который определяется на основе статистических данных от оператора БО;

- определение требуемого порогового уровня сигнала (в виде ЭДС на входе РПУ) в соответствии с (1);
- использование полученного требуемого порогового уровня сигнала в качестве критерия обеспечения граничной дальности радиосвязи в направлении судно-берег при выходе в море ИС.

Первые два этапа в данном случае по факту являются проверкой обеспечения ЭМС, которая определяется по критерию обеспечения расчетной дальности радиосвязи для полученного порогового значения ЭДС, что более подробно раскрыто в [15, 16].

Результаты измерения границ рабочих зон должны быть охарактеризованы неопределенностью измерений, позволяющей сопоставлять результат измерения с установленными требованиями при оценке соответствия. Расчет неопределенности измерений может рассматриваться как математический аппарат статистической обработки экспериментальных данных, что допускается определением термина НИ.

Все рассмотренные в данной работе модели не являются моделями объекта испытаний, а являются моделями условий испытаний, определяемых как воздействием внешних факторов, так и требуемыми параметрами судового испытательного оборудования, полностью учитывая наихудшие значения этих условий и обеспечивают непосредственное измерение граничных дальностей рабочих зон при достижении рассмотренными критериями своих пороговых значений без различных дополнительных аналитических зависимостей. Соответственно проведение испытаний БО и центров СОБМ с использованием таких моделей полностью соответствует определению термина НИ, как это требуется в «Об утверждении Положения об одобрении типов аппаратуры и освидетельствовании объектов и центров»¹, «Об утверждении требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством»².

Обсуждение

Вопрос создания моделей при проведении испытаний, обеспечивающих соответствие таких испытаний определению термина НИ, обусловлен отсутствием государственных стандартов с методами таких испытаний [20]. Существующие стандарты предприятия СтО 14649425-0010-2022¹³, СтО 14649425-0011-2022¹⁴ в значительной степени не соответствуют определению термина НИ, в частности, для ОВЧ телефонии при испытаниях БО СУДС и МР А1 ГМССБ используется субъективный критерий оценки путем прослушивания сообщений, для АИС производится наблюдение за символами АИС и помощью статистической обработки ряда наблюдений, для ЦИВ проводится анализ наличия/отсутствия приема сообщений по дисплею приемника ЦИВ. Приведенные в СтО 14649425-0010-2022¹³, СтО 14649425-0011-2022¹⁴ методы

¹³ СтО 14649425-0010-2022 «Типовая программа и методика проведения испытаний по определению дальности радиосвязи береговой станции морского района А1 Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности».

¹⁴ СтО 14649425-0011-2022 «Типовая программа и методика проведения натурных испытаний системы управления движением судов».

испытаний не учитывают наихудшие условия использования объекта испытаний по прямому назначению, не могут в полной мере обеспечивать достоверность, повторяемость и воспроизводимость результатов и, соответственно, не могут гарантировать надежную связь в пределах устанавливаемых границ рабочих зон БО и центров СОБМ.

В отличие от СтО 14649425-0010-2022¹³, СтО 14649425-0011-2022¹⁴ предлагаемые математические модели позволяют учесть все возможные наихудшие значения условий испытаний, как для СЧ [21], так и для ОВЧ [12], и параметры судового радиооборудования, а испытания, проводимые с использованием таких моделей, полностью обеспечивают достоверность, повторяемость и воспроизводимость результатов и удовлетворяют определению термина НИ, гарантируя надежную связь с целью обеспечения безопасности мореплавания в установленных границах рабочих зон основных технических средств. Частным вопросом является вопрос о допустимости проведения испытаний, не соответствующих в полной мере определению термина НИ для диапазона СЧ, когда отсутствует организационная или техническая возможность отправки ИС на границы рабочих зон.

Основным техническим вопросом, требующим решения в диапазоне ОВЧ, является отсутствие в нормативных документах для МР А1 ГМССБ и СУДС требований по требуемой доступности в виде процента превышения уровня сигнала над уровнем шума на приемлемую величину в течение заданного интервала времени по аналогии с тем, как это определено для МР А2 ГМССБ и НАВТЕКС, при том, что сама задача обеспечения радиосвязи в условиях замираний для диапазона ОВЧ остается. В данной работе с целью подтверждения заданного качества работы радиооборудования с учетом наихудших возможных условий, включая замирания, предлагается для проведения испытаний БО и центров в ОВЧ диапазоне определить процент доступности со значениями 95 % для телефонии (по аналогии с телефонией МР А2 ГМССБ⁴) и 90 % для ЦИВ (по аналогии с НАВТЕКС^{3,4}). В перспективе актуальным вопросом является внесение таких требований в соответствующие нормативные документы.

Заключение

Проведение НИ является основным методом установления фактических географических границ рабочих зон и других эксплуатационных характеристик основных технических средств БО и центров ГМССБ и СУДС при их освидетельствовании.

Как и любые другие виды испытаний, они должны максимально обеспечивать достоверность, повторяемость и воспроизводимость получаемых результатов, на основании которых можно гарантировать устойчивую работу всех основных технических средств объекта испытаний при наихудших условиях его использования по прямому назначению [22]. В связи с этим, нормативными документами «Об утверждении Положения об одобрении типов аппаратуры и освидетельствовании объектов и центров»¹, «Об утверждении требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством»² регламентируется проведение именно НИ, что имеет четкое определение и необходимые условия⁵ [23, 24]. Однако в ряде случаев затруднительно обеспечить проведение испытаний в условиях, точно соответствующих наихудшим условиям использования объекта испытаний по прямому назначению, что приводит к необходимости использования соответствующих моделей.

В работе предложены и проанализированы необходимые модели условий испытаний с точки зрения соответствия таких испытаний определению термина НИ.

Показано, что при использовании рассмотренных моделей все испытания БО и центров СОБМ в диапазонах СЧ и ОВЧ, проводимые в рамках их освидетельствования с целью установления границ географических районов (зон) действия основных технических средств, могут быть проведены в полном соответствии с определением термина НИ, как это определено в ГОСТ 16504-81⁶. Рассмотренные модели относятся к условиям испытаний, определяемым внешними воздействующими факторами или параметрами испытательного оборудования на ИС, но не относятся к объекту испытаний. Определяемой характеристикой объекта является граничная дальность рабочей зоны, которая измеряется непосредственно и при этом не используются аналитические зависимости, отражающие физическую структуру объекта испытаний и его составных частей. Расчет неопределенности измерений рассматривается как математический аппарат статистической обработки экспериментальных данных, и также допускается определением термина НИ.

Исключением является случай проведения испытаний БО и центров в диапазоне СЧ (МР А2 ГМССБ и НАВТЕКС), когда отсутствует организационная или техническая возможность отправки ИС на границы рабочих зон. В этом случае является актуальным рассмотрение вопроса о допустимости проведения испытаний опытно-теоретическим методом с прогнозированием граничной дальности на основе данных, полученных при НИ на меньших дальностях, на которых возможен выход ИС.

Актуальным является рассмотрение и внесение в соответствующие нормативные документы требований по проценту требуемой доступности для технических средств диапазона ОВЧ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Скороходов Д.А., Борисова Л.Ф., Борисов З.Д. Принципы и категории обеспечения безопасности мореплавания. *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2010;13(4-1):719–729.
2. Титов А.В., Баракат Л.А., Павлов А.В., Чанчиков В.А. Создание беспилотной зоны Е-навигации на примере акватории северного Каспия и подходах к морскому торговому порту «Оля». *Морские интеллектуальные технологии*. 2019;(4-2):130–138.
Titov A.V., Barakat L.A., Pavlov A.V., Chanchikov V.A. Setting Up of an Unmanned E-Navigation Zone on the Example of the Northern Caspian Sea Water Area and Approaches to the Commercial Sea Port "Olya". *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2019;(4-2):130–138. (In Russ.).
3. Андрюшечкин Ю.Н., Прохоренков А.А., Лукин А.И. Создание действующей модели специального плавучего средства навигационного ограждения для информационного обеспечения безопасности судоходства. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2021;13(1):45–51. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-1-45-51>
Andryushechkin Y.N., Prokhorenkov A.A., Lukin A.I. Creating an Operating Model of the Special Floating Aids to Navigation Fencing for Information Support of the Navigation Safety. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2021;13(1):45–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-1-45-51>
4. Беспалов А.П., Каретников В.В. Обзор современных технологий мониторинга судов на акваториях ВВП с использованием средств видеонаблюдения *Вестник*

Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2024;16(5):738–748. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-5-738-748>

Bespalov A.P., Karetnikov V.V. Review of Modern Technologies of Vessel Monitoring in the Water Areas of the Inland Waterways Using Video Surveillance Tools. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2024;16(5):738–748. (In Russ.). <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-5-738-748>

5. Некрасов С.Н., Богданович М.Л. Ситуационный метод оценки навигационной безопасности плавания. *Навигация и гидрография*. 2008;(26):30–39.
Nekrasov S.N., Bogdanovich M.L. Situational Method of Evaluating the Navigation Safety. *Navigation and Hydrography*. 2008;(26):30–39. (In Russ.).
6. Сибилев В.А. Система обеспечения навигационной безопасности плавания. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. 2022;(3):16–24. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-16-24>
Sibilev V.A. System of Providing Safe Navigation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;(3):16–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-16-24>
7. Бродский П.Г., Румянцев Ю.В., Лукин А.Н. Современные подходы к решению проблем обеспечения безопасности плавания судов и кораблей в Арктике. *Навигация и гидрография*. 2016;(42):12–19.
Brodsky P.G., Rumyantsev Y.V., Lukin A.N. Present-Day Approaches to Solving the Problems of Navigation Safety Provision for Vessels and Ships in the Arctic. *Navigation and Hydrography*. 2016;(42):12–19. (In Russ.).
8. Дулькейт И.В., Свирский В.М., Шагабутдинов А.Р. Принципы построения системы обеспечения безопасности мореплавания в арктических морях Российской Федерации. В сборнике: *Радиотехника, электроника и связь («РЕиС-2013»): Сборник докладов II Международной научно-технической конференции, 01–04 октября 2013 года, Омск, Россия*. Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения; 2013. С. 318–328.
Dulkejt I.V., Svirskiy V.M., Shagabutdinov A.R. Principles of Maritime Safety System Architecture Construction in Arctic Seas of the Russian Federation. In: *Radiotekhnika, elektronika i svyaz' («РЕиС-2013»): Sbornik dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii, 01–04 October 2013, Omsk, Russia*. Omsk: Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering; 2013. P. 318–328. (In Russ.).
9. Буцанец А.А., Ксенофонтов Н.М., Волкова Т.А. Исследование проблемы построения автоматизированной системы управления для обеспечения безопасного пропуска безэкипажных судов через судоходные шлюзы. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2023;15(6):1115–1129. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2023-15-6-1115-1129>
Butsanets A.A., Ksenofontov N.M., Volkova T.A. Studying the Problem of Constructing an Automated Control System to Ensure the Safe Passage of Unmanned Vessels Through Shipping Locks. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2023;15(6):1115–1129. (In Russ.). <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2023-15-6-1115-1129>
10. Ершов А.А., Михневич А.В., Крицкий А.И. Дополнение радиолокационной информации при решении задач безопасности судов. *Вестник Государственного*

университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2021;13(4):465–479. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-4-465-479>

Ershov A.A., Mikhnevich A.V., Kritsky A.I. Supplementing Radar Information to Solve Ship Safety Problems. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2021;13(4):465–479. (In Russ.). <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-4-465-479>

11. Астреин В.В., Филатов В.И. Навигационные системы и методы повышения их надежности и точности для решения задач предупреждения столкновений автономного судна на этапе разработки концепции. *Морские интеллектуальные технологии*. 2023;(3-1):131–144. <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.61.3.013>
Astrein V.V., Filatov V.I. Navigation Systems and Methods for Improving Their Reliability and Accuracy to Solve Problems of Collision Avoidance of an Autonomous Ship at the Stage of Concept Development. *Marine Intellectual Technologies*. 2023;(3-1):131–144. (In Russ.). <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.61.3.013>
12. Li L., Xiu M., Feng Sh. Prediction Method of Electromagnetic Wave Propagation on High Sea State Based on P-M Wave Spectrum. *International Journal of Antennas and Propagation*. 2022;2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6443469>
13. Громоздин В.В., Коваленко В.И., Иевлев К.В., Козуб М.С. Методика проведения натурных испытаний береговых объектов ГМССБ МР А2. *Электросвязь*. 2022;(4):21–27. <https://doi.org/10.34832/ELSV.2022.29.4.004>
Gromozdin V.V., Kovalenko V.I., Ievlev K.V., Kozub M.S. Methodology of Natural Tests of GMDSS Coastal Objects of the Sea Area A2. *Elektrosvyaz*. 2022;(4):21–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.34832/ELSV.2022.29.4.004>
14. Козуб М.С. Учет ЭМС при определении дальности ОВЧ радиосвязи в направлении Судно-Берег. *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2024;7(1):67–80.
Kozub M.S. Consideration of the EMC in Determining the Distance of VHF Radio-Communication Action in the Ship-to-Shore Direction. *Infocommunications and Radio Technologies*. 2024;7(1):67–80. (In Russ.).
15. Проценко М.Б., Громоздин В.В., Козуб М.С., Новикова Т.В. Анализ ЭМС на береговом объекте ГМССБ и СУДС в диапазоне ОВЧ. *Труды НИИР*. 2023;(3-4):76–82. <https://doi.org/10.34832/NIIR.2023.14.3.007>
Procenko M.B., Gromozdin V.V., Kozub M.S., Novikova T.V. EMC Analysis on the Coastal GMDSS and VTS Facility in the VHF Range. *Trudy NIIR*. 2023;(3-4):76–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.34832/NIIR.2023.14.3.007>
16. Громоздин В.В., Коваленко В.И., Козуб М.С., Новикова Т.В. Особенности проведения натурных испытаний АИС в условиях электромагнитных помех. *Труды НИИР*. 2023;(2):15–21. <https://doi.org/10.34832/NIIR.2023.13.2.002>
Gromozdin V.V., Kovalenko V.I., Kozub M.S., Novikova T.V. Features of Full-Scale Tests of the Automatic Information System in Conditions of Electromagnetic Interference. *Trudy NIIR*. 2023;(2):15–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.34832/NIIR.2023.13.2.002>
17. Трусов С.В., Барабошкин О.И., Бобровский С.А. Перспективы использования спутниковой аппаратуры для обмена информацией с морскими судами в ОВЧ-диапазоне с использованием сообщений AIS, ASM, VDE. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*. 2021;8(4):36–46. <https://doi.org/10.30894/issn2409-0239.2021.8.4.36.46>
Trusov S.V., Baraboshkin O.I., Bobrovskiy S.A. Application Prospects of Satellite Equipment to Exchange Information with Marine Vessels in the VHF Band Using AIS, ASM, and VDE Messages. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye*

- sistemy. 2021;8(4):36–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.30894/issn2409-0239.2021.8.4.36.46>
18. Bullington K. Radio Propagation for Vehicular Communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1977;26(4):295–308. <https://doi.org/10.1109/T-VT.1977.23698>
19. Проценко М.Б., Громоздин В.В., Козуб М.С. Методика оценивания граничной дальности береговых радиостанций СОБМ в ОВЧ диапазоне для направления Берег-Судно. *Труды НИИР*. 2021;(3):40–45. <https://doi.org/10.34832/NIIR.2021.6.3.005>
Protsenko M.B., Gromozdin V.V., Kozub M.S. Procedure for Estimating the Boundary Distance of Shore Radio Stations in VHF Range for the Shore-to-Ship Direction. *Trudy NIIR*. 2021;(3):40–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.34832/NIIR.2021.6.3.005>
20. Анисимов А.Н., Мердаса Ф.Д., Меньшиков В.И. Методологические проблемы в процедурах планирования алгоритма программно-целевого управления состояниями безопасности судна. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. 2020;(4):7–15. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2020-4-7-15>
Anisimov A.N., Merdasa F.D., Menshikov V.I. Methodological Problems in Algorithm Planning Procedures of Program and Target Management of Vessel Safety. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;(4):7–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2020-4-7-15>
21. Mudzingwa C., Chawanda A. Radio Propagation Prediction for HF Communications. *Communications*. 2018;6(1):5–12. <https://doi.org/10.11648/j.com.20180601.12>
22. Мартынов В.Л., Дорошенко В.И., Скрипник И.Л. Сеть метеорной связи в системе обеспечения мониторинга технических средств безопасности мореплавания Северного морского пути. *Морские интеллектуальные технологии*. 2020;(2-1):118–124. <https://doi.org/10.37220/MIT.2020.48.2.008>
Martynov V.L., Doroshenko V.I., Skripnick I.L. Meteor Communication Network in the Monitoring System for Technical Means of Navigation Safety of the Northern Sea Route. *Marine Intellectual Technologies*. 2020;(2-1):118–124. (In Russ.). <https://doi.org/10.37220/MIT.2020.48.2.008>
23. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Модельное изучение процесса рассеяния электромагнитных волн на электродинамических структурах с нанесением диэлектрических материалов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.020>
Avetisyan T.V., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P. Model Study of Electromagnetic Wave Scattering on Electrodynamic Structures with the Application of Dielectric Materials. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.020>
24. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С. Использование данных АИС для оценки опасности коллективного движения на морской акватории. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;5(3). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/08/GrinyakIvanenko_3_1_17.pdf
Grinyak V.M., Ivanenko Yu.S. Use AIS Data for Estimation of Marine Traffic Safety. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2017;5(3). (In Russ.). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/08/GrinyakIvanenko_3_1_17.pdf

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Коваленко Владислав Игоревич, ведущий **Vladislav I. Kovalenko**, Lead Engineer, Branch инженер, Филиал НИЦ Телеком в городе of the NRC Telecom in Sevastopol (TC Севастополе (ИЦ «Омега»), Севастополь, «Omega»), Sevastopol, the Russian Federation. Российской Федерации.

e-mail: kovalenkovi@nic-t.ru

Громоздин Валентин Владимирович, кандидат технических наук, заместитель директора филиала по техническому развитию, Филиал НИЦ Телеком в городе Севастополе (ИЦ «Омега»); доцент, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация.

e-mail: gromozdinvv@nic-t.ru

Искандеров Юрий Марсович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории интеллектуальных систем, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

e-mail: miskanderov.y@iias.spb.su

Беспалов Александр Павлович, аспирант, специалист по научно-технической информации, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

e-mail: bespalovap@gumrf.ru

Valentin V. Gromozdin, Candidate of Engineering Sciences, Deputy Director of the Branch for Technical Development, Branch of the NRC Telecom in Sevastopol (TC «Omega»); Associate Professor, Sevastopol State University, Sevastopol, the Russian Federation.

Yurij M. Iskanderov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Intelligent Systems Laboratory, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Aleksandr P. Bespalov, Postgraduate, Specialist in Scientific and Technical Information, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 06.10.2025; одобрена после рецензирования 20.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

The article was submitted 06.10.2025; approved after reviewing 20.11.2025; accepted for publication 02.12.2025.