


DOI: 10.24937/2542-2324-2023-2-404-140-153
УДК 504.6:551.463.288

В.А. Калью, Д.А. Смирнов, В.И. Таровик , М.С. Сергеев, В.В. Петрова
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АКВАТОРИЙ РОССИЙСКОГО АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА И ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Объект и цель научной работы. Обеспечение экологической безопасности акваторий Российского шельфа требует постоянного развития методов и технологий, связанных с мониторингом, количественной оценкой и сокращением пагубного воздействия источников загрязнения. При промышленном и транспортном освоении акватории Северного морского пути (СМП) наблюдается интенсивный прирост источников подводного шума. Получение адекватной картины влияния источников данного шума на представителей морской экосистемы формирует потребность в привлечении все более современных и точных методик измерений. В статье приводится описание проектов методик измерения собственного шума произвольного судна-носителя и подводного шума выбранного объекта морской техники, которые были разработаны в целях выявления степени воздействия шумового загрязнения на экологическую обстановку рассматриваемой акватории.

Материалы и методы. Гидроакустический сигнал, содержащий шум судна-носителя или объекта гражданской морской техники (ОГМТ), шумы акватории, где проводятся акустические испытания судна-носителя и ОГМТ, воспринимаются комбинированными преобразователями звукового давления и градиента звукового давления, а также и направленным гидрофоном, находящимся в приемной системе, и преобразуются в электрические сигналы, передаваемые по магистральному кабелю на бортовой пост. По тому же кабелю к гидроакустическому маяку наведения поступают сигналы, управляющие работой этого маяка. Процедура обработки информации изложена в руководстве по эксплуатации СИГАК ВП (МГФК.411711.327 РЭ). Основной целью первичной обработки является получение 1/3-октавных спектров и уровней подводного шума, создаваемых испытываемыми судном-носителем или ОГМТ, а также и шумов акватории, где проводятся эти испытания. В соответствии с принятой классификацией метод измерения уровней звукового давления с использованием гидроакустического комплекса по данной методике относится к косвенным методам с однократными наблюдениями.

Основные результаты. Разработаны проекты методик измерения собственного шума произвольного судна-носителя и подводного шума выбранного объекта морской техники. Для измерения уровней подводного шума в 1/3-октавных полосах частот в диапазоне от 5 Гц до 10 000 Гц в рамках проектов методик предполагается использование стационарного измерительного гидроакустического комплекса с векторным приемником из состава ГИК-ВП. Алгоритмы обработки сигналов КГП основаны на пространственно-частотной фильтрации компонент плотности потока акустической мощности, что позволяет обеспечить защиту измерительной информации от сигналов помехи, направленные распространения которых не совпадает с направлением на измеряемый объект.

Заключение. Полученные результаты в виде реализованных проектов методик имеют значение для создания нормативно-правовой документации по регламентированию техногенного подводного шума в акваториях российской юрисдикции, снижения интенсивности шумового загрязнения и пагубного влияния на морские экосистемы, акустического сопровождения на этапах проектирования, строительства и эксплуатации морских промышленных сооружений и судов различных типов, акустического мониторинга соответствия объектов морской техники международным стандартам по подводному шуму.


Ключевые слова: экологическая безопасность, арктический шельф, шумовое загрязнение, проекты методик измерения, комбинированный гидроакустический приемник.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Калью В.А., Смирнов Д.А., Таровик В.И., Сергеев М.С., Петрова В.В. Обеспечение экологической безопасности акваторий Российского арктического шельфа и повышение безопасности морских экосистем за счет снижения шумового загрязнения. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 2(404): 140–153.

For citations: Kalyu V.A., Smirnov D.A., Tarovik V.I., Sergeev M.S., Petrova V.V. The environmental safety of the Russian arctic shelf waters and improving the safety of marine ecosystems by reducing the noise pollution. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 2(404): 140–153 (in Russian).

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-2-404-140-153
UDC 504.6:551.463.288

V.A. Kalyu, D.A. Smirnov, V.I. Tarovik , M.S. Sergeev, V.V. Petrova
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE RUSSIAN ARCTIC SHELF WATERS AND IMPROVING THE SAFETY OF MARINE ECOSYSTEMS BY REDUCING THE NOISE POLLUTION

Object and purpose of research. Ensuring the environmental safety of the Russian shelf waters requires constant development of methods and technologies related to monitoring, quantitative assessment and reduction of the harmful effects of pollution sources. During the industrial and transport development of the water area of the Northern Sea Route (NSR), an intensive increase of underwater noise is observed. Obtaining an adequate picture of the impact of underwater noise sources on representatives of the marine ecosystem creates a need to involve more and more modern and accurate measurement techniques. The article describes the draft methods for measuring the self-noise of carrier vessel and underwater noise of a selected marine equipment object, which were developed in order to identify the degree of impact of noise pollution over to the ecological situation in the considered water area.

Materials and methods. An hydro acoustic signals contains the self-noise of measuring vessel, the noise of an object of marine industrial equipment (OMIE) and the noise of the water area where acoustic tests are going on. This acoustic signals are perceived by combined sound pressure and sound pressure gradient transducers, as well as by an omnidirectional hydrophone, located in the receiving system, and are converted into electrical signals transmitted via the main cable to the onboard post of the measuring vessel. Signals are sent to the hydro acoustic guidance beacon via the same cable to control the operation of this beacon. The information processing procedure is set out in the SIGAK VP Operation Manual (MGFK.411711.327 RE). The main purpose of the primary processing is to obtain 1/3-octave spectra and levels of underwater noise generated by the tested carrier vessel or OMIE, as well as the noise of the water area where these tests are carried out. In accordance with the accepted classification, the method of measuring sound pressure levels using a hydro acoustic complex according to this technique refers to indirect methods with single observations.

Main results. In the course of the work, preliminary methods for measuring the self-noise of measuring vessel and underwater noise of a selected marine industrial object were developed. To measure the levels of underwater noise in 1/3-octave frequency bands in the range from 5 Hz to 10,000 Hz, within the framework of the draft methods, it is planned to use a stationary measuring hydro acoustic complex with a vector receiver from the GIK-VP. The signal processing algorithms are based on the spatial-frequency filtering of the acoustic power flux density components, which makes it possible to protect the measurement information from interference signals whose propagation direction does not coincide with the direction to the measured object.

Conclusion. The results obtained in the form of implemented preliminary methods are important for the creation of regulatory documentation for the regulation of technogenic underwater noise in the waters of the Russian jurisdiction, reducing the intensity of noise pollution and the detrimental impact over to marine ecosystems. The article targeting the support at the stages of acoustical marine technical design, construction and operation of offshore industrial facilities and ships of various types, acoustic monitoring of the compliance of marine equipment with international standards for underwater noise.

Keywords: environmental safety, Arctic shelf, noise pollution, draft of measurement procedures, combined hydro acoustic receiver.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Под акваториями Российского арктического шельфа подразумеваются акватории морей, относящиеся к Северному морскому пути (СМП). Национальное значение СМП состоит в том, что это единственный маршрут, связывающий все арктические и субарктические регионы Российской Федерации [1], который начинается от Карских Ворот и заканчивается бухтой Провидения.

Акватории СМП способствуют развитию логистических коммуникаций между Архангельской областью, Ямало-Ненецким автономным округом, Долгано-Ненецким автономным округом, Республикой Саха, Чукотским автономным округом и перспективны в плане создания альтернативы Суэцкому каналу, помимо этого они богаты различными видами гидробионтов и полезных ископаемых.

В указе Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период

до 2024 года» приводятся основные угрозы для нашей страны, к которым относится задержка развития регионов и инфраструктурных объектов, принадлежащих СМП [2].

Политическое направление Российской Федерации по отношению к концептуальным особенностям развития СМП, в связи с происходящими в мире событиями, менялось от активного привлечения иностранных судоходных компаний до введения протекционистских мер, ограничивающих количество зарубежных судов на данном маршруте [1]. Ограничительные меры отражены в Федеральном законе № 525-ФЗ в 2018 г.: в документе предусмотрены каботаж для российских судов и реализация требования о перевозке полезных ископаемых только на судах под российским флагом.

Мониторинг мирового рынка перевозок по Северному морскому пути и морских транспортно-логистических услуг за 11 месяцев 2021 г. показал, что под российским флагом осуществляли деятельность только 9,5 % судов от общего количества. Протекционизм приведенного выше закона не должен быть оторван от реальной обстановки по наличию необходимого количества танкеров (в т.ч. СПГ), контейнеровозов, судов обеспечения и ледоколов. В то же время это не должно входить в противоречие с задаваемыми темпами развития СМП, которые могут быть обеспечены только закупкой судов у иностранных компаний. Кроме того, обеспечивая заданные темпы развития СМП покупкой требуемых судов у иностранных компаний, российское судостроение будет лишено необходимой поддержки для решения технологических и нормативных проблем.

Полноценное развитие СМП невозможно без консолидации технологического, экологического и экономического аспектов, поскольку выделение только одного аспекта (например, первого) и пренебрежение остальными приведет к противоречию с доктриной безопасности Российской Федерации.

Данная статья подготовлена на основании результатов научно-исследовательской работы по теме «Обеспечение экологической безопасности акваторий Российского арктического шельфа и повышение безопасности морских экосистем за счет внедрения методов и технологий, направленных на регламентацию и снижение их шумового загрязнения при промышленном и транспортном освоении» в соответствии с договором № Д-1584.2022. Здесь приводится описание процесса разработки проектов методик измерения уровней подводного шума «неакустического судна» АПУ и произвольного ОГМТ,

базирующихся на применении, наряду с гидрофоном, в составе ГИК-ВП, также комбинированного векторного приемника (КВП) и векторно-фазовой обработки измерительной гидроакустической информации.

Параметры шума, излучаемого произвольными ОГМТ, должны подлежать контролю и учитываться при регламентации режимов их эксплуатации в акваториях с редкими представителями гидробионтов. Под угрозу пагубного воздействия техногенного подводного шума на маршруте СМП подпадают: малый полосатик (*Balaenoptera acutorosyrata*), финвал (*Balaenoptera physalus*), горбач (*Megaptera novaeangliae*), гренландский кит (*Balaena mysticetus*), гренландский тюлень (*Pagophilus groenlandicus*), сейвал (*Balaenoptera musculus*), белолобый дельфин (*Lagenorhynchus albirostris*), белуха (*Delphinapterus leucas*), атлантический морж (*Odobenus rosmarus*) и другие представители морской фауны.

К негативным последствиям воздействия техногенного подводного шума на представителей гидробионтов можно отнести: поведенческие изменения и смену маршрутов миграции видов, нарушение коммуникативной функции между особями, вытеснение из мест размножения и кормления, а также возникновение стрессовых факторов, что является причиной возникновения у них болезней и дальнейшей гибели. Динамика популяции видов морских животных, которой присущ характер стагнации, приносит вред малочисленным народностям РФ, ведущим промысловый образ жизни.

Разработанные проекты методик, в рамках основного направления научно-исследовательской работы, дают возможность для более точного определения параметров подводного шума произвольных ОГМТ и степени их воздействия на представителей гидробионтов и экологическую обстановку рассматриваемой акватории.

Параметры подводного шума морских судов зависят от следующих характеристик [3]: тип судна, водоизмещение, мощность энергетической установки, тип и мощность пропульсивного комплекса, скорость хода, режимы работы главной энергетической установки, режимы эксплуатации и класс судна.

Как известно, основными физическими источниками подводного шума судов являются [4] машины и механизмы; гребные винты (ГВ); натекающий на движущееся судно поток; ледяные образования – однолетний, двухлетний, многолетний арктический лед, ледяной припай, дрейфующий лед, мелкобитый лед, торосы, ледяной покров.

Получение адекватной картины воздействия физических источников подводного шума, в зависимости от приведенных выше параметров на всех этапах развития СМП, на экосистемы акваторий, позволит разработать механизмы по снижению интенсивности источников и разработать меры по обеспечению экологической безопасности.

Перейдем к поэтапному описанию проектов методик измерения уровней подводного шума «неакустического судна» АПУ и произвольного ОГМТ.

Состав стационарного измерительного гидроакустического комплекса с векторным приемником

Components of stationary research sonar suite with vector-based receiver

В состав СИГАК ВП входят следующие основные функциональные составные части:

- подводный приемный модуль (ППМ), в котором размещены гидрофон, комбинированный векторный приемник и электронный компас, подводный контейнер с электронной аппаратурой, предназначенные для измерения параметров гидроакустического поля (звукового давления и градиента звукового давления в геодезической системе координат) в точке приема, измерения глубины, обеспечения работы вспомогательных режимов, обеспечения накопления и передачи на бортовую аппаратуру измерительной информации в реальном масштабе времени;
- спускоподъемное устройство с кабельными линиями связи, предназначенное для обеспечения расположения приемного модуля на заданной глубине (до 300 м) и передачи измерительной информации в электрическом виде к магистральной линии связи;
- магистральная волоконно-оптическая линия связи (МВОЛС) с электронной аппаратурой, предназначенная для передачи на удаленный пост измерительной информации в оптическом виде, обеспечения управления режимами работы спускоподъемного устройства и приемного модуля.
- бортовой комплект аппаратуры, используемый для управления режимами работы, приема, накопления и обработки измерительной информации.

К подводной части СИГАК ВП относятся:

- приемный модуль, включающий первичные измерительные преобразователи;

- контейнер с электронной аппаратурой, включая датчик статического давления и излучатель маяка наведения;

- универсальное спускоподъемное устройство;
- магистральная волоконно-оптическая линия связи.

Подводная часть ПЧ измерительного комплекса с гидрофоном и комбинированным приемником СИГАК ВП предназначена для:

- размещения первичных преобразователей и электронной аппаратуры в заданной точке полигона на заданной глубине;
- реализации основных режимов работы СИГАК ВП: акустические измерения, акустический маяк, электрический контроль;
- приема гидроакустических сигналов, преобразования их в цифровой вид для передачи измерительной информации по кабелям спускоподъемного устройства и магистральному кабелю МВОЛС на бортовую часть СИГАК ВП.

В комплект бортовой аппаратуры входят:

- блок согласования с МВОЛС БС;
- блок питания и управления БПУ;
- комплекс архивирования и обработки информации КАО.

Комплект бортовой аппаратуры предназначен для выполнения следующих положений:

- обеспечение электропитанием подводной части ПЧ на всех режимах работы СИГАК ВП;
- управление режимами работы СИГАК ВП: изменение глубины, акустические измерения, акустический маяк, электрический контроль;
- прием измерительной информации, преобразования, предварительной обработки, передачи информации для архивирования и дальнейшей обработки.

Аппаратура СИГАК ВП должна обеспечивать:

- накопление на внутренний регистратор подводной части и/или передачу измерительных гидроакустических сигналов в бортовой комплекс аппаратуры в цифровом виде;
- синхронные с ВП измерения и передачу данных о пространственной ориентации векторных каналов ВП;
- работу измерительной системы в режиме измерения электрических характеристик сквозного тракта с применением встроенного генератора шума;
- работу измерительной системы в режиме измерения собственных шумов сквозного тракта, приведенных к входу;
- перечисленные выше функции должны выполняться по командам от аппаратуры бортовой части СИГАК ВП.

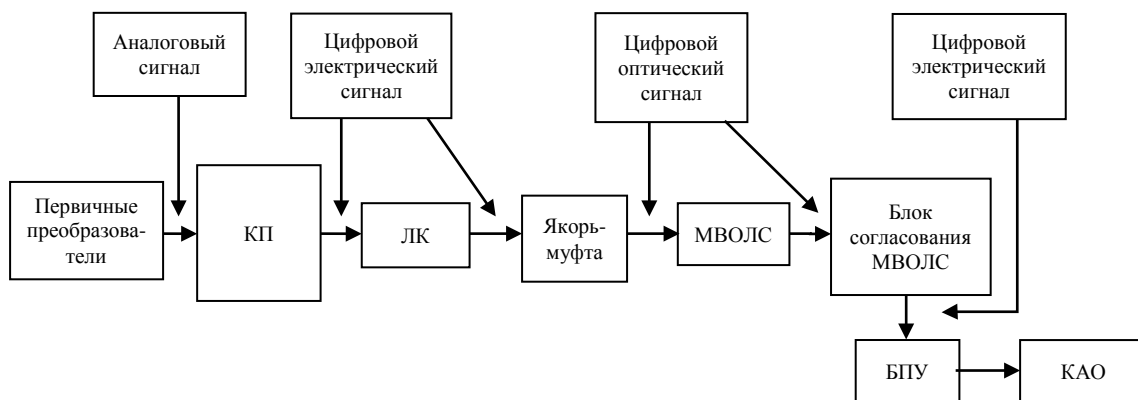


Рис. 1. Функциональная схема измерительного тракта стационарного измерительного гидроакустического комплекса с векторным приемником

Fig. 1. Flow chart of the measurement channel in stationary research sonar suite with vector-based receiver

Таблица 1. Основные технические и эксплуатационные характеристики стационарного измерительного гидроакустического комплекса с векторным приемником

Table 1. Main technical and operational parameters of stationary research sonar suite with vector-based receiver

Наименование параметра, ед. изм.	Значение
Рабочий диапазон частот при измерении звукового давления, Гц,	2–10 000
Рабочий диапазон частот при измерении градиента звукового давления, Гц	10–1000
Максимальный измеряемый уровень звукового давления (относительно 20 мкПа) при коэффициенте нелинейных искажений не более 1 %, дБ, не менее	130 (3,2 В) при $K_f \leq 1$ %
Максимальный измеряемый уровень выходного сигнала каналов КПП (относительно 1 мкВ) при коэффициенте нелинейных искажений не более 1 %, дБ, не менее	120 при $K_f \leq 1$ %
Границы неисключенной систематической погрешности измерения звукового давления в точке расположения гидрофона в конусе верхней полусферы с углом раствора 600° в диапазоне частот от 2 Гц до 10 кГц при доверительной вероятности $P = 0,95$, дБ, не более	± 2
Границы неисключенной систематической погрешности измерения градиента звукового давления в точке расположения КПП-1 в конусе верхней полусферы с углом раствора 450° в диапазоне частот от 20 до 1000 Гц при доверительной вероятности $P = 0,95$, дБ, не более	± 3
Неисключенная систематическая инструментальная погрешность измерения глубины погружения, м, не более	± 1
Максимальное рабочее гидростатическое давление на подводную часть комплекса, МПа (м)	Не более 3,0 (300)
Повышенная рабочая температура среды для подводной части комплекса, °С	Не более 20
Повышенная температура среды для бортовой части комплекса, °С	Не более 30
Пониженная температура среды для бортовой части комплекса, °С	Не менее 10
Пониженная температура среды для подводной части комплекса, °С	Не менее 4
Относительная влажность воздуха для бортовой части комплекса при температуре 30 °С, %	Не более 90
Срок службы, лет	Не менее 10

Функциональная схема измерительного тракта СИГАК представлена на рис. 1.

Основные технические и эксплуатационные характеристики СИГАК ВП приведены в табл. 1.

Основные технические характеристики комбинированных векторных гидроакустических приемников, применяемых при создании ГИК-ВП, должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 2.

Основные технические характеристики измерительного гидрофона представлены в табл. 3.

Требования к показателям точности измерений

Measurement accuracy requirements

Требования к показателям точности измерений уровня подводного шума (средних квадратов звукового давления) в нормативной документации не установлены. Приписанные значения доверительных границ погрешности результатов измерений уровня подводного шума и нормы СКО случайной погрешности указываются по результатам метрологического исследования и представлены в табл. 4.

Оценка суммарного среднего отклонения результата измерения находится в соответствии с Рекомендациями по метрологии [5].

Методы измерения Арктического плавучего университета

Measurement methods of Arctic floating university

Характеристики фонового подводного шума оцениваются на этапе подготовки к выполнению измерений УПШ.

Измеряемой по данной методике физической величиной – уровнем подводного шума АПУ на стоянке L_f в 1/3-октавной полосе частот называется математическое ожидание квадрата звукового давления \bar{P}_f^2 в обесшумленной полубезграничной однородной среде на траверзе корпуса АПУ на дистанции ≈ 200 м, приведенное к дистанции 1 м и выраженное в дБ относительно квадрата порогового значения акустического давления $(P_0)^2 = (2 \cdot 10^{-5} \text{ Па})^2$.

Все измерительные каналы комбинированного приемника градуируются в единицах звукового давления в плоской бегущей волне. Сигналы на

Таблица 2. Технические характеристики низкочастотного комбинированного (векторного) приемника
Table 2. Technical specifications of low-frequency combined (vector-based) receiver

Наименование параметра, ед. изм.	Требование к параметрам КГП
Рабочий диапазон частот при измерении звукового давления, Гц,	10–1000
Рабочий диапазон частот при измерении градиента звукового давления, Гц	10–1000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности, дБ:	
▪ канала звукового давления;	$\pm 1,5$
▪ каналов градиента давления в диапазоне средних частот 1/3-октавного фильтра:	
– от 10 до 200 Гц;	$\pm 1,5$
– от 250 до 1000 Гц	± 2
Максимальный выходной сигнал, при коэффициенте нелинейных искажений не более 1 %, В	не менее 1
Уровни собственных шумов относительно 20 мкПа в 1/3-октавных полосах частот, дБ:	не более 50;
▪ для канала давления;	ограничены сверху ломаной
▪ для каналов градиента давления	линией, проходящей через
	точки с координатами:
	10 Гц – 65 дБ;
	30 Гц – 54 дБ;
	50 Гц – 50 дБ;
	1000 Гц – 25 дБ
Отклонение характеристики направленности каналов градиента давления от дипольной в углах $\pm 45^\circ$, $(180 \pm 45)^\circ$ относительно оси максимальной чувствительности, дБ	± 1
Показатель асимметрии максимумов каналов градиента давления, дБ	± 1
Коэффициент деления каналов градиента давления, дБ	Не менее 20

Таблица 3. Технические характеристики измерительного гидрофона

Table 3. Technical parameters of instrumentation hydrophone

Наименование параметра, ед. изм.	Требование к параметрам измерительного гидрофона
Диапазон рабочих частот, Гц	2–125 000
Верхний предел динамического диапазона (относительно 20 мкПа) при коэффициенте нелинейных искажений не более 1 %, дБ	Не менее 130
Температурный коэффициент уровня чувствительности в диапазоне температур от –4 °С до 35 °С, дБ / °С	Не более 0,1
Изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа, дБ	Не более 0,03
Неравномерность частотной характеристики чувствительности в диапазоне рабочих частот, дБ	Не более 9
Неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе ±180° в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 до 125 кГц, дБ	Не более 3
Неравномерность диаграммы направленности в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе ±30° относительно нормали к оси гидрофона в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 до 125 кГц, дБ	Не более 3
Уровень эквивалентного шумового давления (относительно 20 мкПа), дБ	Не более 50
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	10
Максимальная емкость нагрузки, нФ	1,5

Таблица 4. Приписанные значения доверительных границ погрешности результатов измерений уровня подводного шума и нормы среднеквадратичного отклонения

Table 4. Assigned fiduciary ranges for underwater noise measurement errors and RMS deviations

Описание	Выражение
Граница неисключенной систематической составляющей методической погрешности результата измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$	$\theta^{\text{мет}} = (10^{0,1 \cdot \theta_{\text{дБ}}^{\text{мет}}} - 1)$
Норма среднего квадратичного отклонения случайной составляющей погрешности результата измерения	$S = (10^{0,1S_{\text{дБ}}} - 1)$
Граница неисключенной систематической составляющей погрешности средства измерения информационно-измерительной системы при доверительной вероятности $P = 0,95$	$\theta^{\text{СИ}} = (10^{0,1\theta_{\text{дБ}}^{\text{СИ}}} - 1)$
Граница неисключенной систематической составляющей погрешности реализации функции преобразования измерительной информации в устройствах обработки при доверительной вероятности	$\theta^{\text{обр}} = (10^{0,1\theta_{\text{дБ}}^{\text{обр}}} - 1)$
Граница суммарной погрешности результата измерения при доверительной вероятности $P = 0,95$	$\Delta = (10^{0,1\Delta_{\text{дБ}}} - 1)$
Граница суммарной погрешности результата измерения Δ вычисляется по формуле:	$\Delta = K_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}$, $\Delta_{\text{дБ}} = 10 \lg(1 + \Delta)$, где K_{Σ} – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической составляющей погрешности, устанавливается по результатам метрологического исследования; S_{Σ} – оценка суммарного среднего квадратичного отклонения результата измерения

выходе приемной системы при измерении ПШ АПУ обрабатываются в соответствии с алгоритмом \overline{P}_i – вычисление значения среднего квадрата акустического давления по измеренной компоненте плотности потока акустической мощности ($\text{Re } PV_i^*$). Здесь i – индекс канала приемника колебательной скорости ($i = x, y, z$); знак * означает комплексное сопряжение; знак $\overline{\quad}$ – усреднение за время $T_{\text{опт}}(f)$.

Процедуры измерения указанных параметров ПШ АПУ описаны ниже в соответствующих частях МИ.

Помеха измерениям создается фоновыми шумами в акватории измерительного полигона, воздействием на приемник виброакустических помех, а также электрическими шумами в измерительном тракте. Уровни помех измерениям оцениваются на выходе алгоритмов обработки информации.

За неисправленный результат наблюдения величины \overline{L}_f принимается уровень $L_f(d)$ максимума квадрата звукового давления, зарегистрированный на заданном режиме на фиксированной измерительной дистанции относительно приемного устройства с заданным методикой усреднением по времени.

Результатом прямого наблюдения величины \overline{L}_f будет называться результат наблюдения $L_f(d)$ с внесенными поправками: Δ_r на отличие фактических значений измерительной дистанции d от стандартной $d_{\text{ст}} = 1$ м, Δ_ϕ на пространственную избирательность приемной системы.

Результат измерения УПШ АПУ вычисляется по формуле:

$$L_f = 10 \cdot \lg \left[\frac{P^2 \cdot K_r(d) \cdot K_\phi(d)}{P_0^2} \right], \quad (1)$$

где f – средняя частота 1/3-октавного фильтра, d – значение измерительной дистанции, $P^2 = P_0^2 \cdot 10^{0,1L_f(d)}$ – неисправленный результат обработки информации.

$K_r(d) = 10^{0,1\Delta_r(d)}$, $K_\phi(d) = 10^{0,1\Delta_\phi(d)}$ – поправочные коэффициенты для пересчета неисправленного результата наблюдения на дистанции d к значению на дистанции $d_{\text{ст}}$ и для учета влияния пространственной избирательности приемной системы на результат наблюдения.

Измерение УПШ АПУ производится косвенным методом путем обработки временных реализаций смеси подводного шума АПУ и фоновой помехи, полученных с каналов комбинированного приемника или измерительного гидрофона.

Гидроакустический сигнал, содержащий шум АПУ, шумы акватории, где проводятся акустические испытания АПУ, воспринимаются комбинированными преобразователями звукового давления и градиента звукового давления, а также ненаправленным гидрофоном, находящимися в приемной системе, и преобразуются в электрические сигналы, передаваемые по магистральному кабелю на бортовой пост. По тому же кабелю к гидроакустическому маяку наведения поступают сигналы, управляющие работой этого маяка.

Основной целью первичной обработки является получение 1/3-октавных спектров и уровней подводного шума, создаваемого испытуемым АПУ, а также и шумов акватории, где проводятся эти испытания.

В обработке используются реализации шума АПУ, которые удовлетворяют двум требованиям: отсутствие перегрузки измерительных усилителей и анализаторов или прерывания сигналов; отсутствие источников вибрационных или гидродинамических помех на элементах приемной системы вследствие их неисправностей или непредвиденных причин.

Согласно принятой классификации метод измерения уровней звукового давления с помощью комплекса по данной методике относится к косвенным методам с однократными наблюдениями.

Операция усреднения по времени ($\overline{\quad}$) осуществляется в соответствии с алгоритмом МЗПХ, применяемым к последовательностям отсчетов уровней 1/3-октавных спектров величин: $\Pi(t)$, т.е. значений $L_f(t)$.

Метод МЗПХ состоит в следующем. По последовательно (1 раз/с) поступающим с выхода анализатора значениям уровней в 1/3-октавных узких частотных полосах $L_f(d, t)$ вычисляются текущие значения $P_f^2(d, t) = P_0^2 \cdot 10^{0,1L_f(d, t)}$, которые подвергаются сглаживанию с помощью прямоугольного весового окна установленной оптимальной длительности $T_{\text{опт}}$, равной 600 с (уточняется в ходе разработки методики).

$$\overline{P_{f, T_{\text{опт}}}^2}(d, t) = \frac{1}{T_{\text{опт}}} \cdot \sum_{t-T_{\text{опт}}-1}^{t+T_{\text{опт}}-1} P_f^2(d, t). \quad (2)$$

По полученным сглаженным значениям вычисляются их уровни

$$L_f(d) = 10 \cdot \lg \frac{\overline{P_{f, T_{\text{опт}}}^2}(d, t)}{P_0^2}, \quad (3)$$

которые и являются неисправленными результатами наблюдения УПШ АПУ.

Для получения исправленного результата наблюдения L_f в неисправленный результат наблюдения $L_f(d)$ вносятся поправки:

- $\Delta_r(d) = 20 \cdot \lg(d/d_{ст})$, учитывающая отличие измерительной дистанции d от стандартной $d_{ст}$;
- $\Delta_\phi(d)$, учитывающая влияние пространственной избирательности приемной системы.

Искомый результат наблюдения определяется выражением

$$L_f = L_f(d) + \Delta_r(d) + \Delta_\phi(d). \quad (4)$$

Метод измерения объекта гражданской морской техники

Measurement method for a civil marine object

Характеристики фонового подводного шума оцениваются на этапе подготовки к выполнению измерений УПШ.

Измеряемой по данной методике физической величиной – уровнем подводного шума ОГМТ \bar{L}_f в 1/3-октавной полосе частот называется максимум распределения математических ожиданий значений квадрата звукового давления \bar{P}_f^2 в обесшумленной полубезграничной однородной среде вдоль горизонтальной прямой, отстоящей от корпуса ОГМТ на дистанции ≈ 200 м, приведенной к расстоянию 1 м и лежащей в вертикальной плоскости, содержащей траекторию движения ОГМТ, выраженный в дБ относительно квадрата порогового значения акустического давления $(P_0)^2 = (2 \cdot 10^{-5} \text{ Па})^2$.

Все измерительные каналы комбинированного приемника градуируются в единицах звукового давления в плоской бегущей волне. Сигналы на выходе приемной системы могут обрабатываться соответственно следующему набору измерительных алгоритмов, в т.ч. реализующих пространственную (угловую) фильтрацию:

\bar{P}^2 – непосредственное измерение среднего квадрата акустического давления (PP^*) ;

$\overline{P_i^2}$ – вычисление значения среднего квадрата акустического давления по измеренной компоненте плотности потока акустической мощности $(\text{Re } PV_i^*)$;

I – индекс канала приемника колебательной скорости ($i = x, y, z$).

Знак $*$ означает комплексное сопряжение.

Знак $\overline{\quad}$ – усреднение за время $T_{\text{опт}}(f)$, соответствующее скорости движения ОГМТ и определяется по формуле

$$T_{\text{опт}} = \frac{d}{50} \cdot T, \quad (5)$$

где d – траверзная дистанция, T – параметр, определяемый в соответствии с табл. 5 в зависимости от скорости движения ОГМТ.

Вопрос об использовании того или иного алгоритма решается исходя из фактического соотношения сигнал/помеха. Процедуры измерения указанных параметров ПШ ОГМТ описаны ниже в соответствующих частях МИ.

Помеха измерениям создается фоновыми шумами в акватории измерительного полигона, воздействием на приемник виброакустических помех, а также электрическими шумами в измерительном тракте. Уровни помех измерениям оцениваются на выходе всех алгоритмов обработки информации.

За неисправленный результат наблюдения величины L_f принимается уровень $L_f(d)$ максимума квадрата звукового давления, зарегистрированный на заданном режиме движения ОГМТ на фактической дистанции d относительно приемного устройства с заданным методикой усреднением по времени.

Результатом прямого наблюдения величины \bar{L}_f будет называться результат наблюдения $L_f(d)$ с внесенными поправками: Δ_r на отличие фактических значений траверзной дистанции d от стандартной

Таблица 5. Установка параметра T , с

Table 5. Value of T parameter, s

Диапазоны частот, Гц	Диапазоны скоростей, уз			
	3–4	5–8	9–15	16–30
20–25	21	11	7	5
31,5–1000	17	9	5	3
1250–10 000	11	7	3	1

$d_{ст} = 50$ м, Δ_ϕ на пространственную избирательность приемной системы.

Результат измерения УПШ ОГМТ вычисляется по формуле.

$$L_f = 10 \cdot \lg \left[\frac{P_{алг}^2 \cdot K_r(d) \cdot K_\phi(d)}{P_0^2} \right], \quad (6)$$

где f – средняя частота 1/3-октавного фильтра; N – число зачетных наблюдений (проходов, галсов); d – значение траверзной (минимальной) дистанции; $P_{алг}^2 = P_0^2 \cdot 10^{0,1L_f(d)}$ – неисправленный результат, полученный с применением любого из двух алгоритмов обработки информации; $K_r(d) = 10^{0,1\Delta_r(d)}$, $K_\phi(d) = 10^{0,1\Delta_\phi(d)}$ – поправочные коэффициенты для пересчета неисправленного результата наблюдения на дистанции d к значению на дистанции $d_{ст}$ и для учета влияния пространственной избирательности приемной системы на результат наблюдения.

Измерение УПШ ОГМТ производится косвенным методом путем обработки временных реализаций смеси подводного шума ОГМТ и фоновой помехи, полученных с каналов комбинированного приемника или измерительного гидрофона.

Гидроакустический сигнал, содержащий шум ОГМТ, шумы акватории, где проводятся акустические испытания ОГМТ, воспринимаются комбинированными преобразователями звукового давления и градиента звукового давления, а также ненаправленным гидрофоном, находящимися в приемной системе, и преобразуются в электрические сигналы, передаваемые по магистральному кабелю на бортовой пост. По тому же кабелю к гидроакустическому маяку наведения поступают сигналы, управляющие работой этого маяка.

Основной целью первичной обработки является получение 1/3-октавных спектров и уровней подводного шума, создаваемого выбранным испытуемым ОГМТ, а также и шумов акватории, где проводятся эти испытания.

В обработке используются реализации шума выбранного ОГМТ, которые удовлетворяют двум требованиям: отсутствие перегрузки измерительных усилителей и анализаторов или прерывания сигналов; отсутствие источников вибрационных или гидродинамических помех на элементах приемной системы вследствие их неисправностей или непредвиденных причин.

В соответствии с принятой классификацией метод измерения уровней звукового давления

с помощью комплекса по данной методике относится к косвенным методам с однократными наблюдениями.

Операция усреднения по времени ($\overline{\quad}$) осуществляется в соответствии с алгоритмом МЗПХ, применяемым к последовательностям отсчетов уровней 1/3-октавных спектров величин: $P^2(t)$, $P_z(t)$, т.е. значений $L_{f, алг}(t)$.

Метод МЗПХ состоит в следующем. По последовательно (1 раз/с) поступающим с выхода анализатора значениям уровней в 1/3-октавных узких частотных полосах $L_{f, алг}(d, t)$ вычисляются текущие значения $P_{f, алг}^2(d, t) = P_0^2 \cdot 10^{0,1L_{f, алг}(d, t)}$, которые подвергаются сглаживанию с помощью прямоугольного весового окна установленной оптимальной длительности $T_{опт}$.

$$\overline{P_{f, T_{опт}}^{2алг}}(d, t) = \frac{1}{T_{опт}} \cdot \sum_{t-\frac{T_{опт}-1}{2}}^{t+\frac{T_{опт}-1}{2}} P_{f, алг}^2(d, t). \quad (7)$$

Из полученных сглаженных значений выбираются максимальные и вычисляются их уровни

$$L_{f, алг}(d) = 10 \cdot \lg \frac{\max \overline{P_{f, T_{опт}}^{2алг}}(d, t)}{P_0^2}, \quad (8)$$

которые и являются неисправленными результатами наблюдения УПШ МО.

Длительности весового окна $T_{опт}$ для заданных рабочей программой испытаний скоростей хода для задействованных частотных диапазонов приведены в табл. 6.1.

Для получения исправленного результата наблюдения $L_{f, алг}$ в неисправленный результат наблюдения $L_{f, алг}(d)$ вносятся поправки:

- $\Delta_r(d) = 20 \cdot \lg(d/d_{ст})$, учитывающая отличие траверзной дистанции d от стандартной $d_{ст}$;
- $\Delta_\phi(d)$, учитывающая влияние пространственной избирательности приемной системы.

Искомый результат наблюдения определяется выражением

$$L_{f, алг} = L_{f, алг}(d) + \Delta_r(d) + \Delta_\phi(d). \quad (9)$$

Используемый метод измерений для АПУ и ОГМТ является прямым, основан на обработке Фурье-спектров и автокорреляционных функций стационарных (в широком смысле) виброакустических сигналов. Измерения однократные.

В части выделения в спектре сигнала дискретных составляющих и измерения их характеристик

методика реализует способ, основанный на измерении времени когерентности фрагмента автокорреляционной функции узкополосного сигнала, предположительно содержащего квазигармоническую составляющую [6].

Условия проведения измерений для Арктического плавучего университета и объекта гражданской морской техники

Measurement conditions for Arctic floating university and civil marine object

При выполнении измерений должны соблюдаться следующие условия:

- отсутствие в акватории посторонних кораблей и судов;
- прекращение на АПУ шумных работ, выключение всех механизмов, работа которых не предусмотрена на заданном режиме;
- в ходе измерений не допускается изменение режимов работы механизмов АПУ, их включение и выключение, использование на объекте активных гидроакустических средств;
- выполнение режимов движения испытуемого ОГМТ, определенных программой испытаний;
- прекращение на ОГМТ шумных работ, выключение всех механизмов, работа которых не предусмотрена на заданном режиме;
- не допускается изменение на галсе скорости и курса движения ОГМТ, изменение режимов

работы его механизмов, их включение и выключение, использование на объекте активных гидроакустических средств (кроме систем, обеспечивающих работу СИД, необходимой для контроля текущей дистанции от ОГМТ до измерительного гидрофона).

Условия реализации методики измерений для АПУ приведены в табл. 6.

Условия реализации методики измерений для ОГМТ приведены в табл. 7.

Параметры дискретных составляющих подводного шума полигона, выявленных в спектральном составе подводного шума:

- спектральная естественная ширина $\Delta f_{\text{ДСС}}$

$$\Delta f_{\text{ДСС}} = \frac{1}{\tau_{\text{ког}}}, \quad (10)$$

- средняя частота $f_{\text{ДСС}}$

$$f_{\text{ДСС}} = \frac{\int_{\Delta f_{\text{ДСС}}} f \cdot S(f) df}{\int_{\Delta f_{\text{ДСС}}} S(f) df}, \quad (11)$$

- энергетическая ширина $\Delta f_{\text{ЭДСС}}$

$$\Delta f_{\text{ЭДСС}} = \frac{\int_{\Delta f_{\text{ДСС}}} S(f) df}{\max S(f)}, \quad (12)$$

Таблица 6. Условия реализации методики измерений для Арктического плавучего университета

Table 6. Conditions for implementation of measurement procedure for Arctic floating university

Наименование влияющей величины, ед. изм.	Номинальное значение	Предельные отклонения
Волнение моря, балл	0	2
Глубина места, м	270–300	±10
Глубина установки ПЧ ППМ, м	50–150	±2
Траверзная дистанция АПУ относительно ПЧ ППМ, м	200	±50
Коэффициент отражения дна полигона в диапазоне средних частот 1/3-октавного фильтра, Гц:		
▪ от 5 до 20;	0,6	±0,1
▪ от 25 до 80;	0,5	±0,1
▪ от 100 до 10 000	0,3	±0,1
Коэффициент отражения от поверхности в диапазоне средних частот 1/3-октавного фильтра, Гц:		
▪ от 5 до 2000;	–1	±0,01
▪ от 2500 до 10 000	–0,95	±0,01

Таблица 7. Условия реализации методики измерений для объекта гражданской морской техники
Table 7. Conditions for implementation of measurement procedure for civil marine object

Наименование влияющей величины, ед. изм.	Номинальное значение	Предельные отклонения
Волнение моря, балл	0	2
Скорость движения ОГМТ, м/с (уз)	1,5–4 (3–8) 4,5–15 (9–30)	±0,3 (±0,6) ±0,5 (±1)
Глубина места, м	270–300	±10
Глубина установки ПЧ ППМ, м	50–150	±2
Текущая дистанция между ОГМТ и ПЧ ППМ, м		±2
Траверзная дистанция прохода ОГМТ относительно ПЧ ППМ, м	43–65	±2
Коэффициент отражения дна полигона в диапазоне средних частот 1/3-октавного фильтра, Гц:		
▪ от 5 до 20;	0,6	±0,1
▪ от 25 до 80;	0,5	±0,1
▪ от 100 до 10 000	0,3	±0,1
Коэффициент отражения от поверхности в диапазоне средних частот 1/3-октавного фильтра, Гц:		
▪ от 5 до 2000;	–1	±0,01
▪ от 2500 до 10 000	–0,95	±0,01

- относительное значение энергетического уровня $L_{\text{дсс}}$

$$L_{\text{дсс}} = 10 \lg \int_{\Delta f_{\text{дсс}}} S(f) df. \quad (13)$$

Расчет значений указанных параметров выполняется в ходе обработки информации.

Анизотропия подводного шума в полигоне оценивается по значениям компонент вектора плотности потока акустической мощности в точке расположения приемника в 1/3-октавных полосах частот в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц, усредненным за время $T \approx 600$ с, $\overline{P_X}(f_{1/3})$, $\overline{P_Y}(f_{1/3})$, $\overline{P_Z}(f_{1/3})$ и значениям модуля этого вектора.

$$\overline{P}(f_{1/3}) = \sqrt{\overline{P_X}^2(f_{1/3}) + \overline{P_Y}^2(f_{1/3}) + \overline{P_Z}^2(f_{1/3})}, \quad (14)$$

$$L_{\text{П}}(f_{1/3}) = 10 \lg \overline{P}(f_{1/3}). \quad (15)$$

Анизотропия описывается следующими характеристиками:

- угол θ между направлениями вектора $\vec{P}(f_{1/3})$ и вертикальной осью \vec{Z} ;
- угол φ между проекцией вектора $\vec{P}(f_{1/3})$ на горизонтальную плоскость и направлением на северный магнитный полюс;

- разница значений вертикальной и горизонтальной компонент вектора $\vec{P}(f_{1/3})$.

$$\chi(f_{1/3}) = 10 \lg \frac{|\overline{P_Z}(f_{1/3})|}{\sqrt{\overline{P_X}^2(f_{1/3}) + \overline{P_Y}^2(f_{1/3})}}. \quad (16)$$

Заключение

Conclusion

Методики проведения натурных исследований собственного подводного шума ПШ АПУ и шума ОГМТ предназначены для проведения измерений уровня подводного шума УПШ в 1/3-октавных полосах частот в диапазоне от 5 до 10 000 Гц стационарным измерительным гидроакустическим комплексом с векторным приемником СИГАК ВП из состава ГИК-ВП.

Приемное устройство комплекса содержит гидрофон и комбинированный векторный приемник, обеспечивающие измерения в диапазоне от 2 до 10 000 Гц. В этом интервале частот обеспечена возможность приема и обработки информации по каналу звукового давления P и в диапазоне от 10 до 1000 Гц – по каналам составляющих вектора колебательной скорости \vec{V} . В этих каналах возможно получение 1/3-октавных текущих спектров мощно-

сти сигнала, а также действительных и мнимых частей компонент плотности потока акустической мощности $\vec{P} = P\vec{V}$, а именно $\text{Re}\vec{P}$, $\text{Im}\vec{P}$. Это дает возможность использовать различные виды обработки измерительной информации и достичь соответствующего помехоподавления (до 10–15 дБ).

СИГАК ВП обеспечивает измерения акустического давления в точке расположения гидрофона, измерения компонент колебательной скорости (градиента звукового давления) и потока акустической мощности в точке расположения комбинированного векторного приемника.

Основой функционирования ГИК-ВП является наличие в его составе наряду с гидрофоном комбинированного векторного приемника и векторно-фазовой обработки измерительной гидроакустической информации. В состав КВП входят традиционный скалярный канал измерения давления и три направленных (векторных) канала измерения градиента давления, сигналы которых пропорциональны проекциям колебательной скорости на оси каналов. Три оси векторных каналов конструктивно образуют правую ортогональную тройку.

Алгоритмы обработки сигналов КВП основаны на пространственно-частотной фильтрации компонент плотности потока акустической мощности, что позволяет обеспечить защиту измерительной информации от сигналов помехи, направление распространения которых не совпадает с направлением на измеряемый объект.

Список сокращений

List of abbreviations

АПУ – Арктический плавучий университет
БПУ – блок питания и управления
ГИК-ВП – гидроакустический измерительный комплекс с векторным приемником
ДСС – дискретная составляющая спектра
КАО – комплекс архивирования и обработки информации
КВП – комбинированный гидроакустический приемник
КП – контейнер подводный
ЛК – лебедка
МВОЛС – магистральная волоконно-оптическая линия связи
МЗПХ – алгоритм обработки по максимальному значению сглаженной проходной
МИ – методика измерений
ОГМТ – объект гражданской морской техники

ППМ – подводный приемный модуль
ПЧ – подводная часть
ПШ – подводный шум
СИГАК ВП – стационарный измерительный гидроакустический комплекс с векторным приемником
СИД – средства измерения данных
СКО – среднеквадратичное отклонение
СМП – Северный морской путь
СПГ – сжиженный природный газ
УПШ – уровень подводного шума

Список использованной литературы

1. *Авилов Н.С.* Экономические возможности и политика Российской Федерации по Северному морскому пути // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2022. № 2 (49). С. 5–12.
2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 // Гарант.ру : информационно-правовой портал : [сайт]. URL: <https://base.garant.ru/71937200> (дата обращения 23.12.2022).
3. *Жарких Н.В., Таровик В.И.* Основные источники подводного шума морских судов, морских нефтегазовых сооружений и объектов портовой инфраструктуры // Труды Крыловского государственного научного центра. 2022. Вып. 3(401). С. 128–138. DOI: 10.24937/2542-2324-2022-3-401-128-138.
4. *Урик Р.Д.* Основы гидроакустики / Пер. с англ. Н.М. Гусева [и др.]. Ленинград : Судостроение, 1978. 445 с.
5. Р 50.2.038-2004. ГСОЕИ. Измерения прямые однократные : оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений : рекомендации по метрологии. Москва : Изд-во стандартов, 2004. 7 с.
6. РДСИМЯН.417-2012. Методика измерений характеристик составляющих спектра стационарного виброакустического сигнала, регистрируемого бортовым информационно-измерительным комплексом самоконтроля скрытности ПТС / ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Санкт-Петербург, 2012.

References

1. *Avilov N.S.* Economic potential and policy of the Russian Federation for the Northern Sea Route // Science Vector of Togliatti State University. Series Economics and Management. 2022. No. 2(49). P. 5–12 (*in Russian*).
2. National objectives and strategic development tasks of the Russian Federation for the period up to the year 2024. Directive of the President of the Russian Federa-

- tion No. 204 dt. May 07, 2018 // Garant.ru : legal information portal. URL: base.garant.ru/71937200 (Accessed: 23.12.2022) (*in Russian*).
3. Zharkikh N.V., Tarovik V.I. Main sources of underwater noise from marine vessels, oil & gas production platforms and port infrastructure facilities // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022. Vol. 3(401). P. 128–138. DOI: 10.24937/2542-2324-2022-3-401-128-138 (*in Russian*).
 4. Urick R.J. Principles of underwater sound / Translated from English by N.M. Gusev [et al.]. Leningrad : Sudostroenie, 1978. 445 p.
 5. Regulatory Document R 50.2.038-2004. State System for Ensuring Measurement Uniformity. Direct single measurements. Error and uncertainty assessment of measurement results. Metrological recommendations. Moscow : Publishing House of Standards, 2004. 7 p. (*in Russian*).
 6. Measurement procedure for spectral components of stationary vibroacoustic signal recorded by onboard information & instrumentation suite for self-check of stealth for floating technical objects. RD5IMJAN.417-2012 / Krylov State Research Institute. St. Petersburg, 2012 (*in Russian*).
- ковское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 386-69-90. E-mail: v_kalyu@ksrc.ru.
- Смирнов Денис Алексеевич, к.т.н., старший научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44.
- Сергеев Максимилян Сергеевич, к.т.н., начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 748-64-48. E-mail: ms_sergeev@ksrc.ru.
- Петрова Вера Владимировна, ведущий инженер ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44.

About the authors

Vladimir I. Tarovik, Cand. Sci. (Eng), Head of Laboratory of Technogenic underwater noise, mathematical modeling and hydroacoustics of the ocean, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-46-81. E-mail: v_tarovik@ksrc.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4001-8016>.

Valery A. Kalyu, Cand. Sci. (Eng), Associate Prof., Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 386-69-90. E-mail: v_kalyu@ksrc.ru.

Denis A. Smirnov, Cand. Sci. (Eng), Senior Researcher, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158.

Maximilian S. Sergeev, Cand. Sci. (Eng), Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 748-64-48. E-mail: ms_sergeev@ksrc.ru.

Vera V. Petrova, Lead Engineer, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158.

Сведения об авторах

Таровик Владимир Иванович, к.т.н., начальник лаборатории техногенного подводного шума, математического моделирования и гидроакустики океана ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-46-81. E-mail: v_tarovik@ksrc.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4001-8016>.

Калью Валерий Алексеевич, к.т.н., доцент, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Мос-

Поступила / Received: 09.01.23
Принята в печать / Accepted: 06.06.23
© Коллектив авторов, 2023