

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 534.88:639.2.065

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-179-194

EDN: YOPAMO

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПОДВОДНОГО
ШУМА СУДОВ НАУЧНО-ПРОМЫСЛОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ****М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук, В.И. Шевцов***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИПРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе действующих технических регламентов и стандартов составлены методические рекомендации по измерению подводного шума судов, предназначенных для рыбохозяйственных исследований и мониторинга биоресурсов. Описаны основные термины и средства измерений, требования к условиям проведения измерений и их возможные погрешности, порядок выполнения, обработки и оформления результатов измерений. Отражены принципы размещения, функционирования и взаимодействия основных узлов гидроакустического измерительного комплекса и объекта измерений. В ходе тестирования осуществляется контроль параметров движения судна по галсу и расстояния до точки регистрации. Предусматривается измерение уровней звукового давления шума, излучаемого судном в диапазоне частот 10–25000 Гц в узких и 1/3-октавных частотных полосах. Измерения шума выполняются в дальнем акустическом поле судна и затем приводятся к расстоянию 1 м. Уровни звукового давления шума представляются в децибелах относительно опорного давления звука 1 мкПа. Производится сравнение измеренного шума с рекомендуемым ИКЕС, ниже которого эффектами избегания рыбами судна можно пренебречь, и выявление областей спектра и уровней его превышения. Методические рекомендации будут использоваться как составная часть программы приемо-сдаточных испытаний новых научно-исследовательских рыболовных судов проекта 17050, а также для акустической аттестации других судов, привлекаемых для проведения биоресурсных исследований ВНИРО и его филиалов.

Ключевые слова: шум судна, шумовые характеристики, гидрофон, гидроакустическое поле, уровень звукового давления, диаграмма направленности, акустическая аттестация судов, оценка запасов рыб

Для цитирования: Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.А., Шевцов В.И. Методические рекомендации по измерению подводного шума судов научно-промыслового назначения // Изв. ТИПРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 179–194. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-179-194. EDN: YOPAMO.

* Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, mikhail.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959; Поляничко Владимир Ильич, заведующий сектором, vladimir.polianichko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494; Убарчук Игорь Анатольевич, главный специалист, igor.ubarchuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2570-1885; Шевцов Василий Игнатьевич, ведущий специалист, vasilii.shevtsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2761-441X.

Methodic recommendations for measuring underwater noise of research and commercial vessels

Mikhail Yu. Kuznetsov*, Vladimir I. Polyanychko**, Igor A. Ubarchuk***, Vasily I. Shevtsov****

*—**** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., head of laboratory, mikhail.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959

** head of sector, vladimir.polyanychko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494

*** chief specialist, igor.ubarchuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2570-1885

**** leading specialist, vasilii.shevtsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2761-441X

Abstract. Recommendations for measuring underwater noise from vessels intended for fisheries researches and monitoring of bioresources are compiled based on current technical regulations and standards. Key terms and tools for the measurement are described, requirements for conditions of the measuring are determined, potential uncertainties of the data and procedures of the data recording and postprocessing are explained. The principles of placement, operation, and interaction are established for the main components of the hydroacoustic measurement system and the object of measurement. The sound pressure levels of noise emitted by vessel in the frequency range of 10–25,000 Hz in narrow and 1/3-octave frequency bands is measured. Parameters of the vessel movement along the track and distance to the registration point are monitored during the testing; the noise level is measured in the far acoustic field of the vessel and then normalized to a distance of 1 m. The sound pressure levels of noise are presented in dB relative to the reference sound pressure of 1 μ Pa. The measured noise levels are compared with the thresholds recommended by the International Council for the Exploration of the Sea (ICES). These thresholds represent the levels below which the effect of fish avoiding the vessel can be ignored. Frequency ranges and levels of the noise exceeding these limits are identified. These recommendations will be used as a component of the acceptance testing program for new research fishing vessels of Project 17050, as well as for acoustic certification of other vessels engaged in researches conducted by the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) and its branches.

Keywords: vessel noise, noise level, hydrophone, hydroacoustic field, sound pressure level, directional diagram, acoustic certification of vessel, fish stock assessment

For citation: Kuznetsov M.Yu., Polyanychko V.I., Ubarchuk I.A., Shevtsov V.I. Methodic recommendations for measuring underwater noise of research and commercial vessels, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 179–194. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-179-194. EDN: YOPAMO.

Введение

Шум любого движущегося технического средства вызывает акустическое загрязнение окружающей среды. Движущееся в водной среде судно служит источником гидроакустического поля, характеризующегося определенным частотным спектром и направленностью. К сожалению, здесь мы не можем воспроизвести звук, который создает крупнотоннажное рыболовецкое судно под водой: он напоминает шум приближающегося поезда. При этом максимум спектральной энергии подводного судового шума находится в диапазоне слуха большинства видов рыб и других водных животных, т.е. они прекрасно слышат шум судна и могут воспринимать его составляющие на больших расстояниях [Кузнецов, 2011]. На путях миграций, в местах нагула и размножения многих млекопитающих и рыб интенсивные акустические шумы судов нарушают «комфортные» условия для реализации этих биологических актов.

Кроме этого, подводный шум научно-исследовательского рыболовного судна (НИРС), выполняющего съемку биоресурсов, может оказывать существенное влияние на их оценки [Underwater noise..., 1995*; Vabø et al., 2002; De Robertis, Wilson, 2006;

* Underwater noise of research vessels: review and recommendations : ICES Cooperative Research Report / ed. R.B. Mitson. 1995. № 209. DOI: 10.17895/ices.pub.5317.

Ona et al., 2007; Кузнецов, Вологдин, 2009; Кузнецов, 2011; De Robertis, Handegard, 2013; Кузнецов и др., 2017; Kuznetsov et al., 2023]. Избегательная реакция вызывает изменение естественного распределения и плотности рыб на пути судна, а наклон рыб при погружении является причиной уменьшения отражательной способности скопления и занижения эхоинтеграционных оценок [McQuinn, 1999; Ona et al., 2007]. Немаловажным является селективирующее влияние шума судна с искажением размерно-видового состава рыб в траловых уловах.

О необходимости снижения или хотя бы контроля шумовых характеристик научно-исследовательских судов в литературе упоминалось неоднократно [Ona, Godø, 1990; Кузнецов, Вологдин, 2009; Левашов, 2010; Кузнецов, 2011]. Уровни шума НИРС должны регулярно измеряться и быть одним из критериев их пригодности для тралово-акустических съемок биоресурсов. Существуют Рекомендации Международного совета по исследованию моря ИКЕС (ICES — International Council for the Exploration of the Sea) № 209, согласно которым уровень шума НИРС на частотах ниже 10 кГц не должен превышать порог восприятия рыбами шума на расстоянии 20 м*.

В последние 20 лет практически у всех зарубежных НИРС при строительстве предусмотрены технические усовершенствования по снижению шумового излучения, а уже построенные регулярно проходят акустическую аттестацию на их соответствие требованиям ИКЕС [Левашов, 2010; Левашов, Буланова, 2021]. В РФ НИРС пока не сертифицированы по шуму, а поскольку большинство из них построены еще в прошлом веке на основе проектов промысловых судов, то имеют уровни шума, значительно превышающие рекомендованные [Кузнецов и др., 2014].

Как известно, в ноябре 2021 г. на Невском судостроительном заводе было начато строительство двух научно-исследовательских судов нового поколения, специально предназначенных для выполнения многовидовых тралово-акустических съемок биоресурсов (рис. 1). В качестве прототипа строящихся НИРС проекта 17050 взято НИС «Jákur Sverri» [Левашов, Буланова, 2021]. Необычная форма носовой части улучшает управление кораблем и снижает расход топлива и шума за счет меньшего гидродинамического сопротивления. Судно спроектировано в соответствии с рекомендациями ИКЕС по шуму, для чего применена одновальная пропульсивная установка с системой



Рис. 1. Внешний вид НИРС проекта 17050 (<https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/11/sudno-17050-1024x594.jpg>)

Fig. 1. Design of research fishing vessel of Project 17050 (from: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/11/sudno-17050-1024x594.jpg>)

* Underwater noise of research vessels: review and recommendations (1995).

малощумного электродвижения, все судовое оборудование установлено на антивибрационных опорах, а машинное отделение звукоизолировано.

В 2026 г. запланированы приемо-сдаточные испытания новых НИРС [Левашов, Татарников, 2024]. Программой приемо-сдаточных испытаний предусмотрены изменения их шумовых характеристик, в связи с чем необходимо разработать процедуру снятия гидроакустических параметров излучаемых судном шумов и их проверки на соответствие требованиям ИКЕС. Для этого были инициированы работы по подготовке методики измерений шума НИРС проекта 17050 как составной части программы их ходовых испытаний на соответствие допустимым уровням шумов, а также для акустической аттестации других судов, привлекаемых для проведения биоресурсных исследований ВНИРО и его филиалов.

Цель данной работы — представить основные принципы, технические средства и процедуры выполнения измерения подводного шума судов, предназначенных для рыбохозяйственных исследований и мониторинга водных биоресурсов.

Основные положения

Методики измерения шумового поля движущихся объектов в большинстве случаев используют основной подход, заключающийся в том, что на некотором расстоянии от трассы движения объекта размещается приемник звуковых волн. В процессе прохода объекта мимо приемника измеряется уровень излучаемого шума и анализируется его спектральный состав в стандартных (октавных, 1/3-октавных) и в узких частотных полосах для выявления причин и источников повышенного шума [Тукиянен и др., 2005].

Методические рекомендации составлены на основе действующих Рекомендаций по метрологии Госстандарта РФ*, Рекомендаций ИКЕС**, Стандарта ANSI/ASA*** и ряда работ, регламентирующих термины и определения, а также порядок проведения измерений сигналов и шумов и представления их результатов [Урик, 1978; Кузнецов и др., 1979, 2014; Кузнецов, 2007, 2011; Кузнецов, Вологдин, 2009].

Предусматривается измерение уровней звукового давления шума, излучаемого научно-исследовательскими и промысловыми судами, и сравнение измеренного шума с рекомендуемым ИКЕС, ниже которого эффектами избегания рыбами судна можно пренебречь. Измерения уровней подводного звукового давления шума выполняются в диапазоне частот 10–25000 Гц в дальнем акустическом поле судна и затем приводятся к расстоянию 1 м с учетом чувствительности гидрофонов и усиления аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Уровни звукового давления шума представляются в децибелах относительно опорного давления звука 1 мкПа. Для интегрального уровня звукового давления шума и отдельных частотных составляющих спектра в диапазоне максимальной слуховой чувствительности рыб, являющихся объектами ресурсных исследований и промысла, могут быть представлены круговые диаграммы направленности.

Параметры гидроакустического поля судна*

Мгновенное акустическое давление — разность между давлением, существующим в рассматриваемый момент времени в некоторой точке среды, и статическим давлением.

Звуковое давление — среднее квадратическое значение мгновенного акустического давления для данного интервала времени.

* Термины и определения по: Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения гидроакустические. Термины и определения. М.: Госстандарт России, 2004. 60 с.

** Underwater noise of research vessels: review and recommendations (1995).

*** Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships. Part 1: General Requirements : American National Standard ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1. Melville, NY, 2009. 22 p.

Акустическая мощность источника звука — полная акустическая энергия, излучаемая источником в определенном интервале времени и в определенной частотной полосе, деленная на этот интервал времени.

Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии) — поток звуковой энергии в определенном направлении через поверхность, перпендикулярную к этому направлению, деленный на площадь этой поверхности.

Плоская волна — волна, в которой волновые фронты всюду являются плоскостями, перпендикулярными к направлению распространения.

Сферическая волна — волна, в которой волновые фронты являются концентрическими шаровыми поверхностями.

Гидроакустическое поле судна — совокупность акустических волн, создаваемых судном в водной среде.

Ближнее звуковое поле — звуковое поле вблизи источника звука, в котором фазы мгновенного звукового давления и мгновенной колебательной скорости существенно различны.

Дальнее звуковое поле — звуковое поле вдали от источника звука, в котором фазы мгновенного звукового давления и мгновенной колебательной скорости близки.

Дифракция звука — явление, при котором изменяется направление распространения звуковой волны под воздействием препятствия или другой неоднородности в упругой среде.

Интерференция звука — сложение в пространстве двух или нескольких звуковых волн, при котором в разных точках пространства получается усиление или ослабление амплитуды результирующей волны.

Затухание — потери (вследствие рассеяния и поглощения) энергии колебаний в зависимости от времени или расстояния.

Спектр звука — представление амплитуд составляющих сложного звука в виде функции частоты.

Шумы судов — звуковые волны, излучаемые в воду подводными частями судна.

Шумность судна — функция уровней звукового давления в третьоктавных полосах в контролируемом диапазоне частот, определенная специальными методами.

Шум моря (фоновый шум) — звуки в море, создаваемые естественными факторами, такими как температурные возмущения, ветер, волны, течения и дождь, т.е. от всех источников, кроме судна.

Проходная характеристика — временная зависимость уровня звукового давления, измеряемого в заданной полосе частот, при равномерном прямолинейном движении судна относительно неподвижного измерительного устройства, сначала при приближении к нему, а затем при удалении от него.

Измерительный галс — участок прямолинейного равномерного движения судна, на котором проводят измерения его шума.

Аэрированный слой — состояние моря, встречающееся на мелкой воде или вблизи корпуса судна в море, особенно при волнении, характеризующееся наличием большого числа воздушных пузырьков.

Требования к средствам измерений и вспомогательным устройствам (состав и характеристики)

Для организации измерений параметров гидроакустического поля судна требуются следующие инструментальные средства (системы).

Гидрофонная измерительная система (ГИС) предназначена для измерения уровней подводного шума и обеспечивает преобразование гидроакустического сигнала в электрический сигнал, его оцифровку, усиление (при необходимости) и передачу в компьютер. В состав ГИС входят калиброванные измерительные гидрофоны с кабелем и АЦП.

Гидрофоны должны быть ненаправленными во всем диапазоне частот, иметь чувствительность, ширину полосы и динамический диапазон, необходимые для измерения шума судна при тестировании. АЦП должен быть калиброванным с тремя

или более независимыми каналами для измерения абсолютных уровней звукового давления от трех и более гидрофонов с функцией ступенчатой регулировки усиления и прецизионной передачи данных компьютеру.

В качестве ГИС предполагается использование трех калиброванных измерительных гидрофонов «Standard Measuring Hydrophone Brüel & Kjær Type 8104» (Дания) с кабелем 50 м, 100 и 150 м и предварительным усилителем «NEXUS» в комплекте и калиброванного четырехканального интерфейса «USB Dynamic signal analyzer PHOTON+». Аналогом может служить система из трех калиброванных измерительных гидрофонов «BC-311 ZETLAB» (Россия) с усилителями заряда «ZET440» и анализатора спектра виброакустических сигналов «ZET034» (АЦП).

Система сбора, обработки и визуализации данных. Система предназначена для сбора и накопления акустических данных от гидрофонов с возможностью их последующей визуализации и обработки. Обработка включает программный анализ сигналов по алгоритму быстрого преобразования Фурье (FFT Spectral Analysis System) во время измерений и предварительно записанных сигналов, включающий октавный и 1/3-октавный анализ на основе параллельных цифровых фильтров, узкополосный спектральный анализ. Система сбора данных должна иметь частоту дискретизации не менее 48 кГц, отвечающую требованиям Найквиста, и надлежащий динамический диапазон (не менее 100 дБ).

Сигнал от каждого гидрофона во время измерительного галса должен быть получен и записан одновременно по всем каналам. Временные отметки должны производиться синхронно с записью акустических данных, чтобы дать возможность реконструировать измерительный галс и обеспечить синхронную обработку данных от всех гидрофонов в реальном масштабе времени. Широкополосная обработка должна покрывать полосы в одну треть октавы от 10 до 25000 Гц. Узкополосная обработка должна быть в соответствующем диапазоне частот, который может быть определен до 5000 Гц или выше, если потребуется.

Предполагается использование в качестве системы сбора, накопления и обработки акустических данных от ГИС программного анализатора для измерений амплитудно-временных характеристик и спектров шумов в режиме экспресс-контроля, записи и обработки (спектрального анализа) звуковых сигналов «RT Pro Playback software for post-processing (Brüel & Kjær)» (<https://www.bksv.com>). Аналог — программное обеспечение «ZETLAB ANALIZ» (<https://zetlab.com>).

Система измерения дистанции. Для приведения уровней звукового давления шума судна к расстоянию 1 м необходимо обеспечить измерение горизонтальной дистанции от точки регистрации (гидрофона) до акустического центра судна. Для этого можно применять любой метод (оптический, акустический, GPS, радарный). Система должна иметь точность измерения дистанции до 2 % по дистанции в точке максимального приближения (ТМП).

Для определения параметров движения судна и его позиционирования (измерения дистанции между ГИС и судном) планируется использование навигационной системы спутникового позиционирования GPS и программы Sounder [Кузнецов, 2013], с помощью которой производятся считывание данных с приемника GPS и расчет скорости движения судна и курсового угла (при их отсутствии в выходных телеграммах GPS). Программа Sounder обеспечивает представление данных в файлах формата csv, вид которых показан на рис. 2.

| Дата | Время, час:мин:с | Пройденное расстояние, миля | Широта, ° | Долгота, ° | Курс судна, ° | Скорость судна, уз. | Глубина, м |
|------------|------------------|-----------------------------|-----------|------------|---------------|---------------------|------------|
| 11.10.2021 | 03:17:16 | 75,16 | 43,03938 | 131,56742 | 16 | 4,4 | 122 |
| 11.10.2021 | 03:17:32 | 75,18 | 43,03926 | 131,56776 | 16 | 4,3 | 123 |
| 11.10.2021 | 03:17:48 | 75,20 | 43,02983 | 131,59539 | 16 | 4,4 | 118 |

Рис. 2. Фрагмент выходного файла данных в программе Sounder
 Fig. 2. Fragment of the output data file of Sounder software

Приемники GPS с программой Sounder должны быть установлены как на судне — объекте измерений, так и на вспомогательном плавсредстве, с которого производятся акустические измерения шума. Запись акустических данных и запись данных с GPS на основном и вспомогательном судах должны быть синхронизированы во времени, чтобы иметь возможность измерить параметры гидроакустического поля судна в любой точке галса и одновременно определить горизонтальное расстояние до этой точки. При измерении допускается, что судно является точечным источником шума.

Требования к условиям проведения измерений

Основное значение имеет глубина в месте измерений и удаленность от путей интенсивного судоходства. Другими факторами для рассмотрения являются окружающий шум, направление и сила течения, гидрологические условия, тип дна, погода и маневренность судна.

Измерения и запись фоновых шумов выполняются одновременно по всем каналам (усреднение 30 с), когда судно находится не менее чем в 2 км от гидрофонов. Измеренная в децибелах разность уровней звукового давления шума судна на галсе (полезный сигнал плюс фоновый шум) и окружающего фонового шума должна быть не менее 3 дБ во всем частотном диапазоне. Значения ниже 3 дБ исключаются из процедуры обработки. Там, где разница уровней судового и фонового шума находится в диапазоне 3–10 дБ, при вторичной обработке должна применяться коррекция.

Минимальная глубина дна в месте тестирования должна быть не менее 100 м или удвоенной длины судна. Измерения, проводимые в более мелководных районах, могут иметь погрешность на частотах ниже 200 Гц.

Состояние поверхности моря во время измерений также имеет значение, так как волнение выше 3 баллов может вызвать дополнительный фоновый шум и образование в приповерхностном слое вблизи корпуса аэрированного слоя, искажающих акустическое поле судна. В общем случае, чтобы обеспечить согласованность и повторяемость измерений при различных состояниях морской поверхности, рекомендуется ограничение в скорости ветра $\leq 8\text{--}10$ м/с для судов длиной более 50 м. Измерения шумов судов меньше 50 м должны выполняться при скорости ветра ≤ 5 м/с. Большие суда длиной более 100 м допускают более жесткие погодные условия.

Порядок выполнения измерений*

Принципы размещения, функционирования и взаимодействия основных узлов измерительного комплекса и объекта измерений.

Расположение гидрофонов. Гидрофоны должны быть размещены в толще воды вертикально таким образом, чтобы измерять объемную форму гидроакустического поля судна при тестировании. Гидрофоны располагаются на глубинах, которые получаются из номинальных углов 15° , 30° и 45° от морской поверхности на дистанции в ТМП (рис. 3). Например, если расстояние в ТМП составляет 50 м, гидрофоны должны быть размещены на глубинах 15 м, 30 и 50 м.

Оснащение гидрофонов должно быть таким, чтобы уменьшить влияние вибрации кабеля и волнения морской поверхности на результаты измерений. Одним из вариантов может быть крепление гидрофонов на тросе с грузом. Для исключения вертикальных движений гидрофонов при волнении моря должна использоваться развязка в виде пружинного или иного подвеса. При этом кабель гидрофона крепится к тросу без нагрузки. Возможны другие технические решения, позволяющие обеспечить требуемое расположение измерительных гидрофонов в толще воды.

Курс и движение судна во время измерений. Конфигурация взаимного положения и движения судна во время измерений показана на рис. 4. Судно проходит по прямой линии мимо вспомогательного судна, с которого производятся акусти-

* Quantities and Procedures for Description and Measurement... (2009).

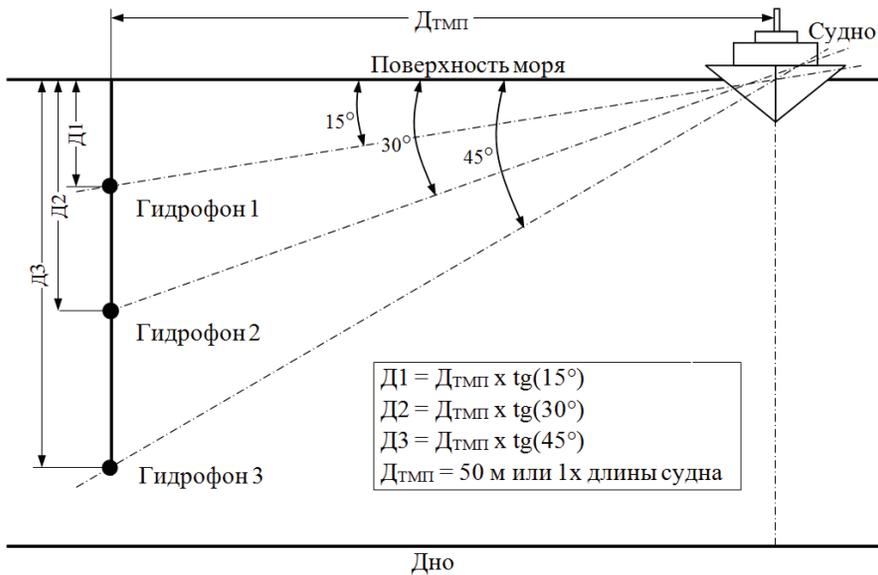


Рис. 3. Вертикальная геометрия гидрофонов и судна в ТМП*

Fig. 3. Vertical geometry of hydrophones and the vessel in the closest point of approach (according to [Quantities..., 2009])

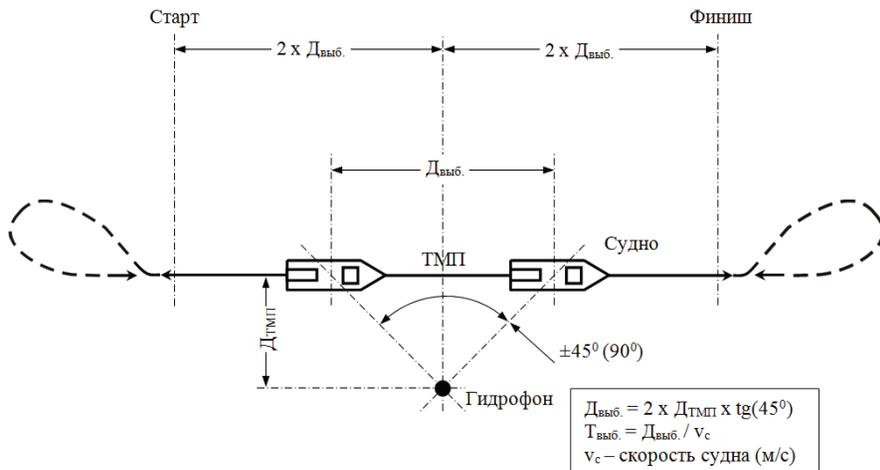


Рис. 4. Схема взаимного положения гидрофона и судна при его движении по галсу во время измерений

Fig. 4. Scheme of relative position of hydrophone and the vessel sailing along beam during the measurements

ческие измерения, таким постоянным курсом, при котором достигается требуемое значение дистанции до гидрофонов, когда судно находится на траверзе (ТМП). Начальная точка галса (или «Старт») является удвоенной длиной окна выборки данных ($D_{выб}$) перед ТМП или ($4 \times D_{ТМП}$). Конечная точка галса (или «Финиш») является удвоенной $D_{выб}$ (или $4 \times D_{ТМП}$) после прохода ТМП. В точке «Старт» судно должно достигнуть требуемый режим работы двигателя и скорость движения, пока не пройдет через точку «Финиш». После этого судно выполняет циркуляцию и выходит на следующий галс другим бортом. Дистанции между ГИС и судном и параметры движения судна в каждой точке галса рассчитываются с использованием программы Sounder.

* Quantities and Procedures for Description and Measurement... (2009).

Последовательность измерений. Перед выполнением галсов судно удаляется не менее чем на 2 км от вспомогательного судна с гидрофонами. После завершения измерений фонового шума тестируемое судно начинает движение в точку «Старт». Включается запись акустических данных от ГИС и запускается программа Sounder.

Когда судно достигнет точки начала галса (точка «Старт»), все установки двигателей и параметры движения судна (обороты двигателя и угол ВРШ, скорость и курс судна) должны соответствовать требуемым и оставаться неизменными до достижения точки «Финиш».

В точке «Старт» в журнале событий программы Sounder производится отметка начала галса. Далее делаются отметки прибытия судна в точку начала окна выборки данных ($D_{выб}$), в ТМП, точку конца выборки данных и в точку «Финиш».

В точке «Финиш» судно выполняет циркуляцию и выходит на следующий галс, как показано на рис. 4. Для каждого тестируемого режима работы двигателя и движения судна должны быть выполнены шесть проходов (по три чередующиеся галса правым и левым бортом). По окончании работ еще раз выполняются измерения фонового шума моря.

Обработка результатов измерений

Когда измерения шума завершены, чтобы отрегулировать уровни звукового давления с учетом фонового шума и чувствительности гидрофонов, а также для приведения (нормализации) данных на различных дистанциях к опорному расстоянию 1 м, требуется их вторичная (постпроцессинговая) обработка. Далее задача состоит в объединении данных, полученных с 3 гидрофонов, и усреднении данных во время галсов*.

Угол окна выборки данных составляет $\pm 45^\circ$ от ТМП, как показано на рис. 4. Дистанция до судна в ТМП должна быть равна 50 м или общей длине судна с допустимым отклонением $\pm 10\%$. Длина окна выборки данных ($D_{выб}$) является расстоянием, пройденным судном по галсу при тестировании в пределах сектора $\pm 45^\circ$ от ТМП (м):

$$D_{выб} = 2 \times D_{ТМП} \times \operatorname{tg}(45^\circ) = 2 \times D_{ТМП} \quad (1)$$

Период окна выборки данных ($T_{выб}$) — это время, которое требуется судну, чтобы пройти расстояние ($D_{выб}$). Период окна данных должен быть разделен на независимые выборки длительностью 1 с каждая.

Регулировки с учетом фонового шума. Значения фонового шума должны быть учтены путем сравнения измеренного уровня шума судна с фоновым шумом в районе тестирования. Отношение сигнал плюс шум к шуму или определяется равенством (2):

$$\Delta = 20 \log \left(\frac{p+n}{n} \right) = 10 \log \left(\frac{p+n}{n} \right)^2 = L_{p+n} - L_n \quad (2)$$

где Δ — отношение сигнала с шумом к шуму для каждой полосы 1/3 октавы; $p+n$ — звуковое давление на гидрофоне, которое составляет $10^{(L_{p+n}/20)}$, мкПа (эта величина включает как полезный сигнал, так и нежелательный фоновый шум); n — давление фонового шума, равное $10^{(L_n/20)}$, мкПа; L_{p+n} — уровень звукового давления шума на измерительном галсе, дБ; L_n — уровень звукового давления фонового шума (тестируемое судно неподвижно и находится на расстоянии 2 км от гидрофонов, дБ).

Если Δ больше 10 дБ — нет необходимости в регулировке. Если Δ между 3 и 10 дБ и фоновый шум существенно стационарен, тогда требуется регулировка в измерениях с использованием равенства:

$$L_p = 10 \log (10^{(L_{p+n}/10)} - 10^{(L_n/10)}), \quad (3)$$

где L_p — откорректированный с учетом фонового шума уровень звукового давления судна при тестировании, вычисленный в полосах в 1/3 октавы.

Если Δ меньше 3 дБ, данные должны быть соответствующим образом отсортированы и исключены из процедуры обработки. При этом в отчете должно быть отмечено, где и какие коррекции были применены.

* Quantities and Procedures for Description and Measurement... (2009).

Регулировки с учетом чувствительности. Кроме коррекций, связанных с наличием фонового шума на полезный сигнал, должны быть учтены чувствительность гидрофона с кабелем и усиление приемника. Регулировки чувствительности должны быть учтены в уровне шума в виде равенства:

$$L_p'' = L_p' + A_{SEN}, \quad (4)$$

где L_p'' — отрегулированный уровень звукового давления шума судна; A_{SEN} — поправка, учитывающая суммарную чувствительность и усиление всех элементов ГИС.

Нормализация (приведение) дистанции. Конечной регулировкой измеренного и откорректированного с учетом фонового шума и чувствительности уровня звукового давления шума L_p'' является нормализация по дистанции (приведение данных к опорному расстоянию 1 м). Дистанция от движущегося по галсу судна до гидрофонов изменяется от максимальной в точках «Старт» и «Финиш» до минимальной в ТМП. При этом из-за течения и волнения эта дистанция может варьировать на 10 % и более, но это все приемлемо, пока она измеряется системой спутникового позиционирования GPS и программой Sounder.

Дистанция от судна до гидрофона может быть вычислена с использованием двух других: горизонтальной от акустического центра судна до буя (вспомогательного судна) и вертикальной от морской поверхности до каждого гидрофона. Дистанция от судна до каждого гидрофона определяется с использованием равенства

$$d_{total} = \sqrt{d_{horz}^2 + d_{vert}^2(h)}, \quad (5)$$

где d_{total} — полная дистанция до гидрофона, используемая для нормализации данных по дистанции; d_{horz} — горизонтальная дистанция от акустического центра тестируемого судна до буя, поддерживающего гидрофоны; d_{vert} — глубина гидрофона ($h_1 = 15$ м, $h_2 = 30$ м и $h_3 = 50$ м).

Приведенный уровень подводного звукового давления шума для каждого гидрофона и каждого измерительного галса определяется выражением

$$L_s(r, h) = L_p'' + 20 \log(d_{total}/d_{ref}), \quad (6)$$

где $L_s(r, h)$ — уровень подводного звукового давления шума, создаваемого судном на опорной дистанции 1 м, как функция от числа пробогов (r) и местоположения гидрофона (глубина h_1, h_2 или h_3); d_{total} — полная дистанция от судна на галсе до каждого гидрофона, м; d_{ref} — опорная дистанция 1 м.

Специфика вторичной обработки данных. Результирующее множество данных измерений должны составлять уровни звукового давления шума, измеренные в узких (1 Гц) и 1/3-октавных частотных полосах, в децибелах относительно 1 мкПа, в диапазоне частот от 10 до 25000 Гц. Такие множества данных должны быть подготовлены для трех гидрофонов и для 6 галсов (по 3 на левый и правый борт). Галсы, соответствующие аспектам левого и правого бортов, должны приводиться отдельно. Эти ряды данных должны быть откорректированы и нормализованы (см. выше).

Первым шагом в финальной обработке является усреднение по мощности уровня подводного шума источника от трех гидрофонов (h_1, h_2 и h_3), которое представляется как уровень звукового давления шума судна для каждого галса (пробега) $L_s(r)$:

$$L_s(r) = 10 \log\left\{\left(10^{L_s(r, h_1)/10} + 10^{L_s(r, h_2)/10} + 10^{L_s(r, h_3)/10}\right)/3\right\}, \quad (7)$$

где $L_s(r)$ — усредненный по мощности уровень подводного судового шума на опорной дистанции 1 м для трех гидрофонов для галса (пробега) номер r ; $L_s(r, h_1)$ — уровень подводного судового шума для мелководного (h_1) гидрофона для пробега номер r ; $L_s(r, h_2)$ — уровень подводного шума источника для среднего (h_2) гидрофона для пробега номер r ; $L_s(r, h_3)$ — уровень подводного шума источника для глубоководного (h_3) гидрофона для пробега номер r .

Чтобы определить конечную величину звукового давления шума, создаваемого судном, данные по 6 галсам арифметически усредняются:

$$L_s = \{\sum_{r=1}^{r=k} L_s(r)\}/k, \quad (8)$$

где L_s — результирующая характеристика (сигнатура) гидроакустического шума для k пробегов; $L_s(r)$ — усредненный по мощности уровень подводного звукового давления шума на опорной дистанции 1 м от источника для трех гидрофонов и для числа галсов (пробегов) r ; k — общее число пробегов: $k = 6$.

Для каждого режима работы судна L_s должна быть определена отдельно для каждой стороны судна (т.е. аспект левого и аспект правого борта) и затем для обоих бортов вместе. Эти финальные величины звукового давления шума L_s как функция частоты в узких полосах (1 Гц) и в полосах 1/3-октавы приводятся в отчете, где данные для различных режимов работы судна сравниваются с рекомендуемыми ИКЕС, а также отмечаются используемые ограничения, коррекции и другие установки.

Точность измерений

Общую погрешность измерений подводного шума судна определяют случайные ошибки, где погрешность может быть оценена из повторяемости измерений, и систематические смещения в оценках. Неопределенность результата измерения включает объединенный эффект от нескольких компонентов, имеющих стандартные значения между 0,5 и 1,0 дБ. Эти компоненты формируются из ошибок, связанных с системой измерения и сбора данных (аппаратурная погрешность): градуировка гидрофонов (1,0 дБ), чувствительность (1,0 дБ); обработка данных (0,5 дБ) и усиление приемника (0,5 дБ). Общая погрешность измерений имеет значение порядка 1,5 дБ (вычисленное как корень из суммы квадратов индивидуальных значений).

Неопределенность в зависимости от условий измерения подводного шума определяют количественные ошибки в определении расстояний, расположения гидрофонов по глубине, температурные градиенты и т.д. Общая погрешность для каждого гидрофона должна составлять около 2,0 дБ. Усреднение данных по трем гидрофонам снижает неопределенность до 1,5 дБ. Эти значения являются типичными для морских акустических измерений.

Близость поверхности и дна также может вызвать смещения в оценках. Акустические волны давления от судна при распространении вблизи поверхности подвержены эффектам отражения от свободной границы вода–воздух, а в мелком море — и дна. Кроме этого, большое значение имеет степень аэрации и рассеяния звука вблизи поверхности. Разнесение гидрофонов по глубине снижает влияние приповерхностных эффектов отражения, но не исключает возможное влияние донных переотражений звука в зависимости от типа дна.

Повторяемость измерений подвержена влиянию ошибки измерения расстояния и обработки сигнала, а также других ошибок, которые различаются от галса к галсу. Среднее от двух или более пробегов уменьшает общую ошибку измерений на величину, которая является квадратным корнем из числа галсов. На результирующие уровни источников также влияет повторяемость режима работы самого судна.

Отчет о результатах измерений

Результаты измерений оформляются в виде отчета (протокола). Отчет должен включать всю доступную, относящуюся к измерениям шума, и сопутствующую информацию согласно форме (см. таблицу).

Все тестируемые режимы работы двигателя и движения судна должны быть сведены в таблицу (рис. 5).

Форма отчета о результатах измерений подводного шума судна (рекомендуемая)
Recommended format of the report on measurements of underwater noise of vessel

| Характеристики судна | Характеристики тестирования | Отчет о проблемах |
|-------------------------------------|--|--|
| 1. Название/тип (классификация) | 1. Дата | 1. Возможные источники подводного шума |
| 2. Верфь и год построения | 2. Местоположение/окружающие условия | 2. Соблюдение условий и процедуры тестирования |
| 3. Размерности | 2.1 Широта/долгота | 3. Внешнее манипулирование данными |
| 3.1 Форма корпуса | 2.2 Высота волны/состояние моря | 4. Окружающие/фоновые регулировки |
| 3.2 Длина | 2.3 Глубина дна/тип дна | 5. Переход от ШП к УП |
| 3.3 Ширина | 2.4 Соленость/температура/профиль скорости звука | 6. Модификации, регулировки данных |
| 3.4 Осадка | 3. Измерительная система | 7. Коррекция уровня шума |
| 3.5 Тоннаж | 3.1 Описание системы подвеса/схема движения судна | |
| 3.6 Балластные условия | 3.2 Глубина гидрофонов | |
| 4. Состояние корпуса | 3.3 Модель гидрофона/направленность/чувствительность | |
| 5. Характеристики силовой установки | 3.4 Методы и результаты калибровки гидрофонов | |
| 5.1 Трансмиссия | 4. Программа тестирования | |
| 5.2 Число валов | 4.1 Расстояние в ТМП | |
| 5.3 Число лопастей винта | 4.2 Окно данных | |
| 5.4 Обороты на узел | 4.3 Геометрия маневрирования | |
| | 4.4 Уровни фонового шума | |

| Номер режима | Обороты двигателя/мин | Угол ВРШ, град. | Скорость судна, уз. |
|--------------|-----------------------|-----------------|---------------------|
|--------------|-----------------------|-----------------|---------------------|

Рис. 5. Режимы работы двигателя и скорости движения судна во время измерений
Fig. 5. Engine operating modes and the vessel speed during the measurements

Максимально допустимый предел уровня подводного шума в полосах частот 1 Гц может быть вычислен по следующим формулам*:

— в диапазоне от 1 Гц до 1 кГц:

$$L_s \leq 135 - 1,66 \log(f_{Гц}), \quad (9)$$

— в диапазоне от 1 кГц до 100 кГц:

$$L_s \leq 130 - 1,66 \log(f_{Гц}). \quad (10)$$

В отчете приводятся спектральные характеристики уровня подводного звукового давления шума в децибелах относительно 1 мкПа на расстоянии 1 м для каждого режима работы двигателя и скорости движения судна в одногерцовом и третьоктавном представлении со шкалой центральных частот. На рис. 6 в качестве примера приведены спектральные характеристики шума одного из НИС БИФ ВНИРО проекта «Атлантик-833», измеренные согласно изложенным выше методическим рекомендациям.

Полученные данные сравниваются с рекомендуемыми ИКЕС уровнями шума. Результаты сравнения для каждого режима работы судна заносятся в таблицу, вид которой представлен на рис. 7.

Для интегрального уровня звукового давления и дискретных составляющих шума в диапазоне слухового восприятия рыб представляются круговые диаграммы направленности (линии равной интенсивности) гидроакустического поля судна.

* Underwater noise of research vessels... (1995).

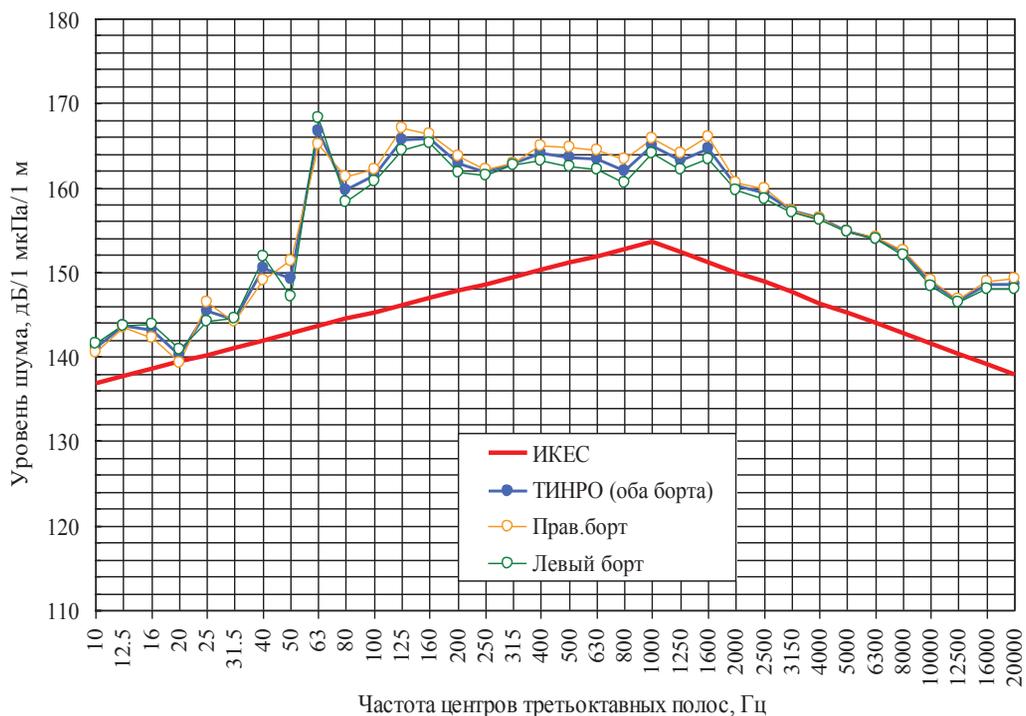


Рис. 6. Шумовые характеристики НИС «ТИНРО» и границы допустимого уровня шума согласно Рекомендациям ИКЕС* в 1/3-октавных диапазонах частот

Fig. 6. Noise characteristics of the research vessel TINRO relative to the permissible noise levels according to ICES recommendations [Underwater noise..., 1995], by 1/3-octave frequency bands

| Третьоктавн. полоса, Гц | Уровень шума выше ИКЕС, дБ | | | Возможный источник |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | Скорость судна 6 уз. (125 об./мин) | Скорость судна 9 уз. (150 об./мин) | Скорость судна 12 уз. (180 об./мин) | |
| 10 | | | | |
| 12.5 | | | | |
| ... | | | | |
| 20000 | | | | |

Рис. 7. Уровни подводного шума в третьоктавных полосах частот выше рекомендуемых ИКЕС

Fig. 7. The levels of underwater noise of research vessel above the permissible levels recommended by ICES, by 1/3-octave frequency bands

Заключение

Избегательная реакция рыб на шумы научно-исследовательских и промысловых судов является одним из источников погрешности в результатах оценок запасов и нестабильности промысла рыб.

На основании действующих технических регламентов и стандартов составлены методические рекомендации по измерению гидроакустического шума научно-исследовательских и промысловых судов как часть программы ходовых испытаний нового поколения российских НИРС, выполнение которых позволит оценить качество их проектирования и строительства в целом.

Предполагается, что данные измерений судовых шумов будут использованы при разработке технологии их контроля (мониторинга) и критериев оценки, напри-

* Underwater noise of research vessels... (1995).

мер, насколько уровень шумов превышает допустимый уровень для данного объекта исследований или промысла, а также при разработке нормативных требований, необходимых для проведения акустической аттестации (сертификации) судов научного и промыслового назначения.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность руководству БИФ ВНИРО и экипажам НИС «ТИНРО» и НИС «Профессор Кагановский» БИФ ВНИРО за организацию и всестороннюю помощь в проведении экспериментальных работ, результаты которых были использованы при подготовке настоящей методики.

The authors are grateful to managers of the research fleet base of VNIRO and crews of the research vessels TINRO and Professor Kaganovsky for their assistance in experimental studies, which results became the base for these methodic recommendations.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ВНИРО № 076-00002-21-00 по теме «Нормативно-техническое и информационное обеспечение экспедиционных исследований и деятельности рыбодобывающего флота и предприятий» (подтема 19.5 «Материалы к разработке программы и методики испытаний НИРС на соответствие требований Рекомендаций ИКЕС № 209 относительно допустимых уровней судовых шумов, излучаемых в воду»).

The study was conducted as a part of the state assignment of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) No. 076-00002-21-00 (Section 6. Conducting applied scientific researches) on the topic «Regulatory, technical, and informational support for expeditionary research and activities of the fishing fleet and enterprises» (Subtopic 19.5. Materials for development of programs and methodology for testing the research fishing vessel in compliance with the requirements of ICES Recommendation No. 209 regarding permissible levels of vessel noise emitted into water).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

М.Ю. Кузнецов — актуализация проблемы и разработка структуры методики, написание текста статьи; В.И. Шевцов, В.И. Поляничко — систематизация материалов по теме исследования, написание текста; И.А. Убарчук — алгоритмы обработки результатов измерений.

M.Yu. Kuznetsov — actualized the issue, developed the methodology structure, wrote the draft of the manuscript; V.I. Shevtsov, V.I. Polyanychko — systematized and analyzed the materials, wrote and illustrated the text; I.A. Ubarchuk — developed algorithms for processing the measurement data.

Список литературы

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства дистанционного управления поведением рыб на промысле : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2007. — 131 с.

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 20–51.

Кузнецов М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 157–176.

Кузнецов М.Ю., Вологдин В.Н. Гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и их влияние на поведение и оценки запасов рыб (обзор и перспективы исследований) // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 334–355.

Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.А., Сыроваткин Е.В. Влияние гидроакустического шума судна на эхоинтеграционные оценки запасов рыб и уловистость учетного трала (на примере минтая Охотского моря) // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 190. — С. 85–100. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-85-100. EDN: WQVNHJ.

Кузнецов М.Ю., Шевцов В.И., Поляничко В.И. Характеристики гидроакустического шума научно-исследовательских судов ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 177. — С. 235–256. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-235-256.

Кузнецов Ю.А., Китлицкий В.С., Федосенков В.С., Шибков А.Н. Методика исследования гидроакустических шумов промысловых судов // Промышленное рыболовство. — Владивосток : ТИНРО, 1979. — Вып. 9. — С. 86–90.

Левашов Д.Е. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований : моногр. — М.: ВНИРО, 2010. — 400 с.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. Некоторые суда для рыбопромысловых исследований, построенные в 2019–2020 гг. // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 184. — С. 203–217. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217.

Левашов Д.Е., Татарников В.А. Методические аспекты приемо-сдаточных испытаний новых отраслевых научно-исследовательских судов на основе отечественного и зарубежного опыта // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2024. — С. 493–500.

Тукиянен А.Н., Теверовский Г.В., Цыганков С.Г. Измерение шумности — актуальная задача // Судостроение. — 2005. — № 6(763). — С. 39–40.

Урик Р.Д. Основы гидроакустики : моногр. — Л. : Судостроение, 1978. — 448 с. (Пер. с англ.)

De Robertis A., Handegard N.O. Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review // ICES J. Mar. Sci. — 2013. — Vol. 70, № 2 — P. 34–45. DOI: 10.1093/icesjms/fss155.

De Robertis A., Wilson C.D. Walleye pollock respond to trawling vessels // ICES J. Mar. Sci. — 2006. — Vol. 63, № 3. — P. 514–522. DOI: 10.1016/j.icesjms.2005.08.014.

Kuznetsov M.Y., Polyanchko V.I., Ubarchuk I.A. Effects of vessel noise on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) behaviour // The Effects of Noise on Aquatic Life. — Springer Nature Link, 2023. — P. 1–13. DOI: 10.1007/978-3-031-10417-6_86-1.

McQuinn I.H. A review of the effects of fish avoidance and other fish behaviours on acoustic target strength, special identification and biomass estimation : ICES FAST WG. — St. John's, Canada, 1999. — 17 p.

Ona E., Godø O.R. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling // Rapp. P.-v. Reun. Const. Int. Explor. Mer. — 1990. — Vol. 189. — P. 159–166.

Ona E., Godø O.R., Handegard N.O. et al. Silent research vessels are not quiet // J. Acoustical Society of America. — 2007. — Vol. 121, № 4. — P. 145–150. DOI: 10.1121/1.2710741.

Vabø R., Olsen K., Huse I. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring // Fish. Res. — 2002. — Vol. 58(1). — P. 59–77. DOI: 10.1016/S0165-7836(01)00360-5.

References

Kuznetsov, M.Yu., *Hydroacoustic methods and means of remote control of fish behavior in fishing*, Vladivostok: Dalrybvtuz, 2007.

Kuznetsov, M.Yu., Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance. Part 1. Hydroacoustic tools and technologies of their use in bioresource researches of TINRO-center, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2013, vol. 172, pp. 20–51.

Kuznetsov, M.Yu., Distance of certain fish species reaction to underwater noise from fishing and research vessels and admissible levels of the noise. *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2011, vol. 164, pp. 157–176.

Kuznetsov, M.Yu. and Vologdin, V.N., Hydroacoustic noise from fishing and research vessels and its influence on fish behaviour and fish stocks estimation (review and prospects of study), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2009, vol. 157, pp. 334–355.

Kuznetsov, M.Yu., Polyanichko, V.I., Ubarchuk, I.A., and Syrovatkin, E.V., Influence of hydroacoustic noise from vessel on echo integration estimations of fish stocks and catchability of acousting trawl (on example of walleye pollock in the Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2017, vol. 190, pp. 85–100. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-85-100. EDN: WQVHJB.

Kuznetsov, M.Yu., Shevtsov, V.I., and Polyanichko, V.I., Underwater noise characteristics of TINRO-Center’s research vessels, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2014, vol. 177, pp. 235–256. doi 10.26428/1606-9919-2014-177-235-256

Kuznetsov, Yu.A., Kitlitsky, V.S., Fedoseenkov, V.S., and Shibkov, A.N., Methodology for studying hydroacoustic noises from fishing vessels, in *Promyshlennoye rybolovstvo* (Industrial fishing), Vladivostok: TINRO, 1979, vol. 9, pp. 86–90.

Levashov, D.E., *Sovremennyye suda i sudovoye oborudovaniye dlya rybopromyslovykh issledovaniy* (Modern vessels and ship equipment for fishery research), Moscow: VNIRO, 2010.

Levashov, D.E. and Bulanova, N.P., Some vessels for fishery research built in 2019–2020, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 184, pp. 203–217. doi 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217

Levashov, D.E. and Tatarnikov, V.A., Methodological aspects of acceptance tests for new industry research vessels based on domestic and foreign experience, in *Mater. II Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. “Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: 300 let rossiyskoy akademicheskoy nauke”* (Proc. II Int. Sci. Pract. Conf. “The fishery complex of Russia: 300 years of Russian academic science”), Moscow: VNIRO, 2024, pp. 493–500.

Tukiyanen, A.N., Teverovskiy, G.V., and Tsygankov, S.G., Noise measurements — relevant task, *Sudostroyeniye*, 2005, vol. 6(763), pp. 39–40.

Urik, R.J., *Principles of underwater sound*, New York: McGraw-Hill, 1975.

De Robertis, A. and Handegard, N.O., Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review, *ICES J. Mar. Sci.*, 2013, vol. 70, no. 2, pp. 34–45. doi 10.1093/icesjms/fss155

De Robertis, A. and Wilson, C.D., Walleye pollock respond to trawling vessels, *ICES J. Mar. Sci.*, 2006, vol. 63, no. 3, pp. 514–522. doi 10.1016/j.icesjms.2005.08.014

Kuznetsov, M.Y., Polyanichko, V.I., and Ubarchuk, I.A., The effects of vessel noise on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) behavior, in *Effects of Noise on Aquatic Life*, Springer Nature Link, 2023, pp. 1–13. doi 10.1007/978-3-031-10417-6_86-1

McQuinn, I.H., A review of the effects of fish avoidance and other fish behaviours on acoustic target strength, special identification and biomass estimation, *ICES FAST WG*, St. John’s, Canada, 1999.

Ona, E. and Godø, O.R., Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling, *Rapp. P.-v. Reun. Const. Int. Explor. Mer.*, 1990, vol. 189, pp. 159–166.

Ona, E., Godø, O.R., Handegard, N.O., Hjellvik, V., Patel, R., and Pedersen, G., Silent research vessels are not quiet, *J. Acoustical Society of America*, 2007, vol. 121, no. 4, pp. 145–150. doi 10.1121/1.2710741

Vabø, R., Olsen, K., and Huse, I., The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring, *Fish. Res.*, 2002, vol. 58, no. 1, pp. 59–77. doi 10.1016/S0165-7836(01)00360-5

Underwater noise of research vessels: review and recommendations, *ICES Cooperative Research Report*, Mitson, R.B., ed., 1995, no. 209. doi 10.17895/ices.pub.5317

Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Izmereniya gidroakusticheskoye (State system for ensuring the uniformity of measurements. Hydroacoustic measurements. Terms and definitions), Moscow: Gosstandart of Russia, 2004.

Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships. Part I: General Requirements, American National Standard ANSI/ASA S12.64-2009/Part I, Melville, NY, 2009.

<https://www.bksv.com>. Cited November, 2024.

<https://zetlab.com>. Cited November, 2024.

Поступила в редакцию 20.12.2024 г.

После доработки 4.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

The article was submitted 20.12.2024; approved after reviewing 4.03.2025; accepted for publication 10.03.2025