

УДК 551.463.2

© А. А. Родионов, Д. А. Никитин*, К. Б. Филлин, Н. Н. Шпилев, Е. Д. Паничева, 2024

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский пр., д. 36, г. Москва, Россия
*dan56fio@mail.ru

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ БАСЕЙН САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ФИЛИАЛА ИНСТИТУТА ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Статья поступила в редакцию 09.10.2024, после доработки 09.11.2024, принята в печать 15.11.2024

Аннотация

В Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук построен и введён в строй заглушенный гидроакустический бассейн, оснащенный автоматизированной системой закрепления и перемещения измерительных излучателей, приёмников (гидрофонов) и исследуемых моделей объектов. В состав оборудования бассейна входят излучатели, гидрофоны, многофункциональные эхолоты с режимом гидролокаторов бокового обзора, усилители излучающего и приёмного трактов, аналого-цифровые преобразователи, переносные компьютеры с программным обеспечением для формирования излучающих и регистрации принимаемых сигналов. Созданы функционирующие макеты приёмного и излучающего трактов. Разработана математическая модель бассейна на основе расчёта гидроакустических полей методом мнимых источников. Оценено качество заглушенности бассейна, показавшее её удовлетворительное значение. Для проведения экспериментов по исследованию отражающих свойств объектов изготовлены стандартные модели этих объектов. Заглушенный гидроакустический бассейн позволяет проводить исследование характеристик макетов гидроакустических средств, методов формирования и обработки сигналов в активном и пассивном режимах работы; процессов, происходящих в водной среде.

Ключевые слова: гидроакустический бассейн, гидроакустический излучатель, гидрофон, аналого-цифровые преобразователи, математическая модель бассейна, модели объектов

UDC 551.463.4

© А. А. Rodionov, D. A. Nikitin*, K. B. Filin, N. N. Shpilev, E. D. Panicheva, 2024

Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, 117997, Nakhimovsky pr., 36, Moscow, Russia
*dan56fio@mail.ru

HYDROACOUSTIC WATER TANK OF ST. PETERSBURG BRANCH OF SHIRSHOV INSTITUTE OF OCEANOLOGY OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Received 09.10.2024, Revised 09.11.2024, Accepted 15.11.2024

Abstract

St. Petersburg Branch of Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences has constructed and commissioned an acoustically isolated water tank, equipped with an automated system for securing and moving measuring emitters, receivers (hydrophones), and the objects under study. The tank's equipment includes emitters, hydrophones, multifunctional echosounders with side-scan sonar capabilities, amplifiers for both emitting and receiving channels, analog-to-digital converters, and portable computers with software for generating emitting and recording receiving signals. Functional models of both receiving and emitting channels have been created. A mathematical model of the water tank has been developed based on calculations of hydroacoustic fields using the method of imaginary sources. The quality of acoustic isolation in the water tank has been assessed, yielding satisfactory results. Standard models of objects have been manufactured for experiments investigating their reflective properties. The acoustically isolated water tank allows for research into the characteristics of hydroacoustic systems, methods for signal formation and processing in both active and passive modes, as well as processes occurring in aquatic environments.

Keywords: hydroacoustic water tank, hydroacoustic emitter, hydrophone, analog-to-digital converters, mathematical model of the tank, object models

Ссылка для цитирования: Родионов А.А., Никитин Д.А., Филлин К.Б., Шпилев Н.Н., Паничева Е.Д. Гидроакустический бассейн Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2024. Т. 17, № 4. С. 109–121. doi:10.59887/2073-6673.2024.17(4)-9
For citation: Rodionov A.A., Nikitin D.A., Filin K.B., Shpilev N.N., Panicheva E.D. Hydroacoustic Water Tank of St. Petersburg Branch of Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2024;17(4):109–121. doi:10.59887/2073-6673.2024.17(4)-9

1. Введение

Гидроакустические волны обладают уникальными характеристиками по распространению в морской среде на большие расстояния и по возможности получения информации о гидрофизических процессах и подводных объектах. За сто с лишним лет бурного развития область применения гидроакустики существенно расширилась. К крупным задачам, решаемым с помощью гидроакустики [1] относятся:

- поиск, обнаружение, классификация природных и техногенных объектов, находящихся в толще морской воды или на дне;
- картографирование и определение структуры морского дна;
- контроль технического состояния подводных сооружений и трубопроводов;
- обеспечение надводных и подводных пилотируемых и безэкипажных аппаратов средствами навигации и связи;
- телеуправление по гидроакустическому каналу подводными аппаратами;
- сбор, анализ, передача и приём телеметрической информации от гидроакустических средств мониторинга подводной обстановки;
- дистанционная регистрация течений, внутренних волн, распределений гидрофизических полей и др.

Для решения всего комплекса научных и прикладных задач гидроакустики проводятся теоретические и экспериментальные лабораторные и натурные исследования, имеющие свои достоинства и недостатки. Наиболее полная информация в области гидроакустики может быть получена на основе теоретического подхода, натурального эксперимента и физического моделирования. Теоретические модели, охватывающие основные закономерности, как правило, являются упрощенными и не могут в полной мере учесть особенности процессов, происходящих в реальных условиях.

Натурные эксперименты позволяют получить реальные данные о гидроакустических полях. Вместе с тем они требуют привлечения значительных материальных, людских и финансовых ресурсов. При этом получение статистически достоверных результатов на практике вызывает большие трудности из-за невозможности многократного повторения экспериментов в одних и тех же гидролого-акустических условиях и при одном и том же взаимном расположении объектов, участвующих в этих экспериментах. Методики пересчёта результатов к заданным условиям (например, в техническом задании) основаны на теоретических моделях и также могут иметь соответствующие ограничения. Существуют и принципиальные технические сложности измерения гидроакустических полей на больших пространственно-временных масштабах.

Преимущества физического моделирования в гидроакустике заключаются в том, что оно не требует больших материальных, людских и финансовых затрат на проведение экспериментов в гидроакустическом бассейне. По принципу подобия результаты лабораторных экспериментов относительно просто пересчитываются на натурные. В бассейне надёжно обеспечивается контроль гидролого-акустических условий и взаимного расположения объектов эксперимента: излучателя, приёмной антенны и модели объекта. Имеется возможность сопровождения результатов физического моделирования теоретической моделью.

Данная статья посвящена описанию конструкции и возможностям гидроакустического бассейна Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук по физическому моделированию процессов и явлений в морской среде.

В России лабораторные исследования в области гидроакустики проводят довольно большое число организаций. В табл. 1 приведён ряд организаций, которые оснащены гидроакустическими бассейнами, а также основные характеристики бассейнов.

Таблица 1

Table 1

Организации, оснащённые гидроакустическими бассейнами
Organization powered by hydroacoustic water tank

Наименование организации, место расположения	Наименование бассейна	Размеры бассейна, длина × ширина × глубина, м ³	Примечание
ОАО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург [2]	Измерительный заглушённый бассейн № 1	50×14×10	Грузоподъёмность мостовых координатных устройств до 3 т
	Измерительный заглушённый бассейн № 2	13,5×4,5×4,5	Грузоподъёмность трех подъемно-поворотных координатных устройств до 0,5 т

Наименование организации, место расположения	Наименование бассейна	Размеры бассейна, длина × ширина × глубина, м ³	Примечание
ОАО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург [2]	Гидроакустический бассейн № 3	4,5×4,5×4,5	Оснащен тремя образцовыми установками
Акустический институт им. Андреева, Москва [3]	Большой заглушенный гидроакустический бассейн	21×7×7	Два моста с четырьмя координатно-поворотными устройствами грузоподъемностью 5, 150 и 1500 кг
	Малый заглушенный гидроакустический бассейн	10×7×7	Два моста с двумя координатно-поворотными устройствами грузоподъемностью 10 и 150 кг; три образцовых установки 2-го разряда
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород [4]	Гидроакустический бассейн	4,5×3,5×3	
Кафедра акустики радиофизического факультета Нижегородского университета, Нижний Новгород [5]	Гидроакустический бассейн	4×5×5	
Южный федеральный университет, Таганрог [6]	Гидроакустический заглушенный бассейн	4×3×2,5	Оснащены поворотными-координатными устройствами
	Гидроакустический заглушенный бассейн	1,5×1×1	
Фирма L–Card, Москва [7]	Опытный бассейн	3×1,5×0,75	
Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург [8]	Гидроакустический бассейн	5×3×3	
	Заглушенный гидроакустический бассейн		Эксперименты с макетами массой до 2 т

2. Описание конструкции и технического оснащения гидроакустического бассейна Санкт-Петербургского филиала Института океанологии

Гидроакустический бассейн (рис. 1) с рабочим объемом 14,4 м³ предназначен для исследования акустических явлений в жидкости. Характеристики бассейна приведены в табл. 2 [9]. Для обеспечения звукопоглощения применена облицовка внутренних поверхностей бассейна резиной. Поверхность бассейна перекрывается сборной крышкой из резины той же марки. Элементы резины закреплены на металлических рамах с ручками. Крышки имеют ширину 40 см и укладываются вдоль короткой стороны бассейна. Опорой для крышек служат торцы листов резины внутренней облицовки бассейна. Съём и установка крышек осуществляется тельфером грузоподъемностью 2000 кг.



Рис. 1. Внешний вид гидроакустического бассейна

Fig. 1. Appearance of the hydroacoustic water tank

Основные характеристики гидроакустического бассейна

Main characteristics of the hydroacoustic water tank

№ п/п	Наименование характеристики	Значение характеристики
1	Тип бассейна	Опытный
2	Длина (внутренний габарит ванны бассейна), м	4,0
3	Ширина (внутренний габарит ванны бассейна), м	2,0
4	Глубина (внутренний габарит ванны бассейна), м	2,2
5	Расчетная площадь зеркала воды, м ²	8,0
6	Объем бассейна, м ³	17,6

Для снижения влияния внешних техногенных шумовых помех фундамент бассейна развязан относительно фундамента здания, а сам бассейн установлен на амортизаторы.

В бассейне установлена автоматизированная система линейного перемещения (рис. 2), которая обеспечивает закрепление измерительных излучателей и приемников и испытуемых образцов, перемещение их вдоль и поперек бассейна, вверх, вниз и вращение вокруг геометрической оси, а также отсчет и регистрацию значений текущих координат. Её основные характеристики приведены в табл. 3. Предусмотрено устройство комплекса водоподготовки для заполнения гидроакустического бассейна в составе:

- фильтр грубой очистки;
- система удаления мутности и обезжелезивания;
- фильтр тонкой очистки;
- ультрафиолетовый стерилизатор.

Уникальность гидроакустического бассейна, в отличие от других гидроакустических бассейнов, заключается в том, что в нём может создаваться стратификация по плотности за счёт системы «подогрева — охлаждения воды» гидрофизического бассейна, оснащенного системой термостратификации и термокосами для её регистрации. По сравнению с другими бассейнами, приведёнными в табл. 1, по своим размерам бассейн занимает среднее положение. Меньшие объёмы воды существенно сокращают время подготовки к проведению экспериментов, упрощают и удешевляют эксплуатацию бассейна.

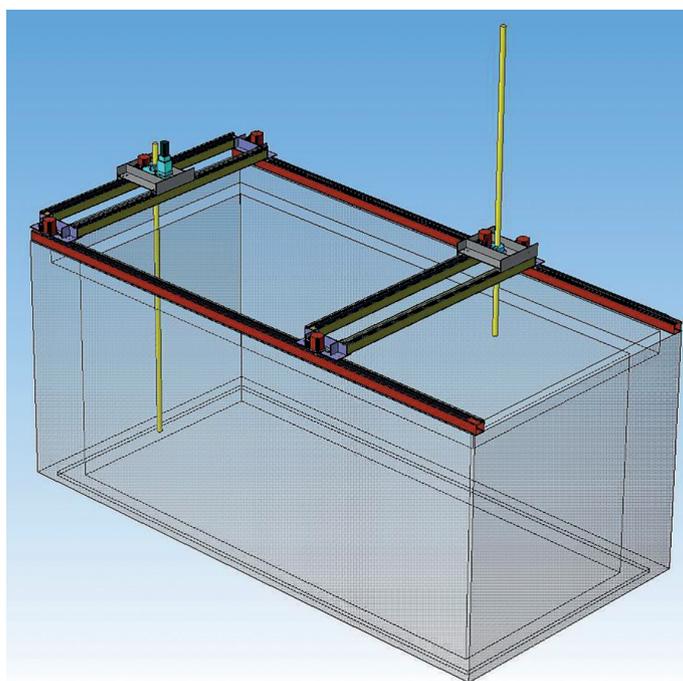


Рис. 2. Схема автоматизированной системы линейного перемещения

Fig. 2. Diagram of the automated linear displacement system

Основные характеристики автоматизированной системы линейного перемещения

Main characteristics of the automated linear movement system

№ п/п	Наименование характеристики	Значение характеристики
1	Количество систем перемещения	2
2	Пределы перемещения по осям, мм:	X – 3500 Y – 1600
3	Вращение стойки с нагрузкой вокруг оси Z, система 1	Не ограничено
4	Вращение стойки с нагрузкой вокруг оси Z, система 2	Не предусмотрено
5	Скорость перемещения в водной среде, мм/мин	3000
6	Точность позиционирования, мм	±5
7	Максимальная масса полезной нагрузки, кг	50

Для проведения лабораторных экспериментов созданы макеты приёмного и излучающего трактов. Приёмный тракт (рис. 3) включает в свой состав: гидрофоны фирмы Brüel & Kjaer типов 8103 и 8105; 4-канальный усилитель Nexus фирмы Brüel & Kjaer; аналого-цифровые преобразователи (АЦП) E14–440 и E20–10 фирмы L–CARD; цифровой осциллограф Hantek DSO 1062B; переносной компьютер (ноутбук) Lenovo с программным обеспечением L-GRAF фирмы L–CARD.

В состав излучающего тракта (рис. 4) входят: переносной компьютер (ноутбук) Lenovo; усилитель звуковой частоты KAP-47 с согласующим устройством (трансформатором); гидрофоны фирмы Brüel & Kjaer типов 8103 и 8105. Для устранения влияния сетевой помехи частотой 50 Гц питание всей аппаратуры осуществляется от аккумуляторных батарей.

Измерительные гидрофоны фирмы Brüel & Kjaer 8103 и 8105 (рис. 5) предназначены для преобразования звуковых сигналов, распространяющихся в воде, в электрическое напряжение с целью дальнейшего усиления и регистрации. Они являются обратимыми и могут использоваться в качестве излучателей звуковых сигналов. Миниатюрный гидрофон 8103 оснащен малошумящим интегральным кабелем с двойной экранировкой. Основные характеристики гидрофонов приведены в табл. 4 [10].

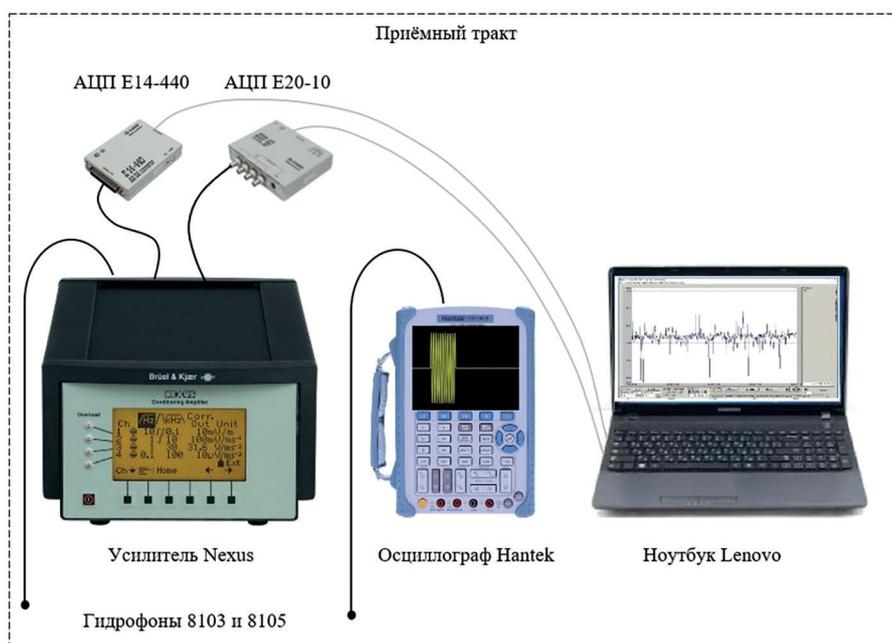


Рис. 3. Макет приёмного тракта

Fig. 3. Model of the receiving path

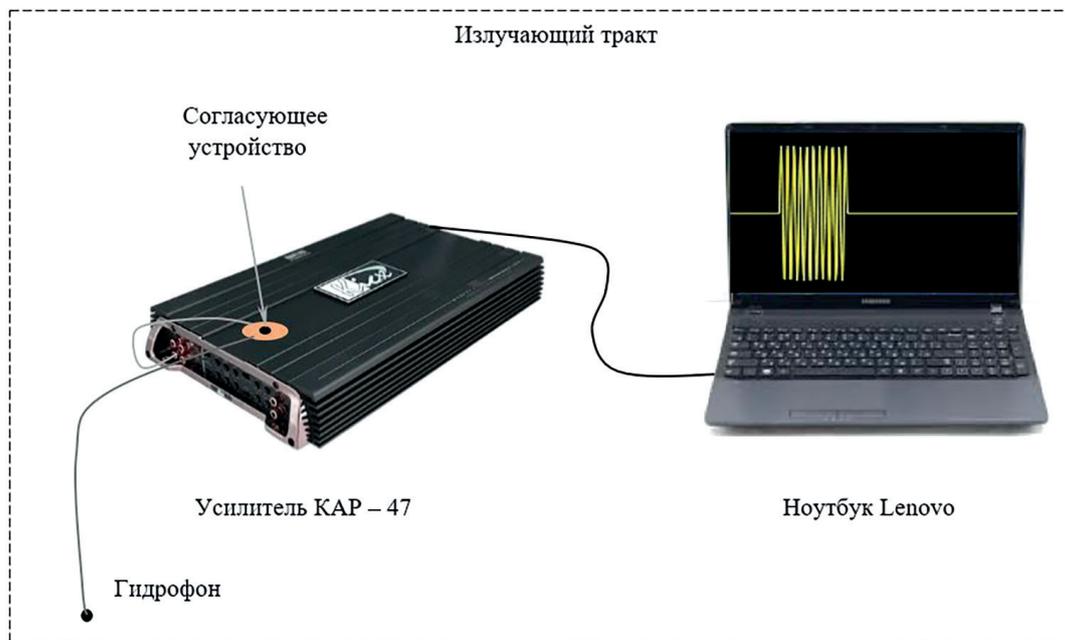


Рис. 4. Макет излучающего тракта

Fig. 4. Model of the emitting path

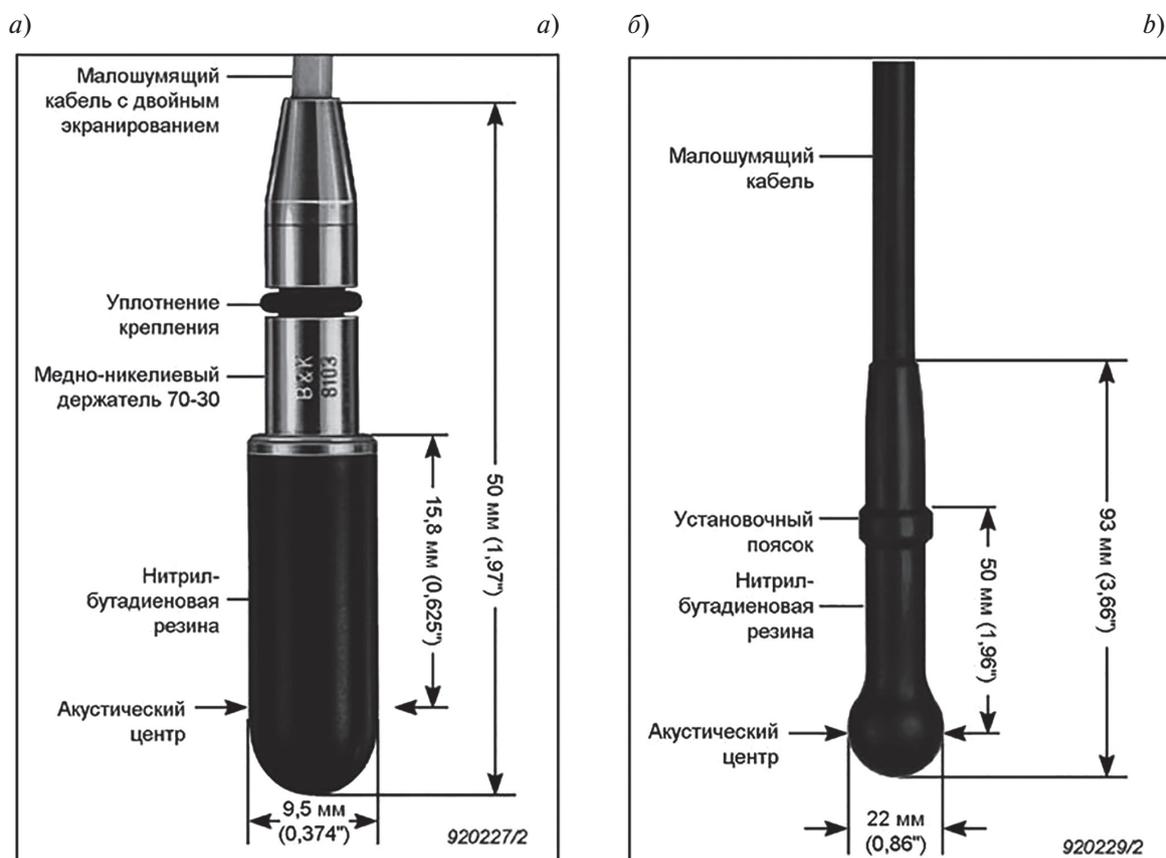


Рис. 5. Внешний вид измерительных гидрофонов: а — 8103; б — 8105

Fig. 5. Appearance of measuring hydrophones: a — 8103; b — 8105

Для усиления звуковых сигналов, принятых гидрофонами, служит 4-канальный измерительный усилитель NEXUS2692 — OS4 фирмы Brüel & Kjær. Его основные характеристики приведены в табл. 5 [11].

Для просмотра гидроакустических сигналов предназначен портативный двухканальный цифровой осциллограф Hantek DSO 1062B. Его основные технические характеристики представлены в табл. 6 [12]. Регистрация сигналов осциллографа осуществляется на портативную видеокамеру.

Для оцифровки гидроакустических сигналов используются аналого-цифровые преобразователи (АЦП) E-14-440 и E 20-10 фирмы L-Card [13]; их характеристики указаны в табл. 7. Регистрация оцифрованных сигналов осуществляется с помощью программного обеспечения L-GRAF фирмы L-Card.

Таблица 4

Table 4

Основные характеристики гидрофонов 8103, 8105

Main characteristics of hydrophones 8103, 8105

Характеристики	Тип гидрофона	
	8103	8105
Диапазон частот, Гц	0,1–180000	0,1–160000
Чувствительность в режиме приёма, мкВ/Па	29	56
Чувствительность в режиме излучения, Па/В	0,1 на частоте 20 кГц; 3,98 на частоте 100 кГц	0,316 на частоте 20 кГц; 11,9 на частоте 100 кГц
Длина, мм	50	93
Диаметр, мм	9,5	22
Масса с интегрированным кабелем, кг	0,170	1,6
Длина кабеля, м	6	10
Количество	2	2

Таблица 5

Table 5

Основные характеристики усилителя NEXUS2692 — OS4

Main characteristics of the NEXUS2692 — OS4 amplifier

Характеристики	Значение
Диапазон частот, Гц	0,1–100000
Граничная частота фильтра верхних частот, Гц	0,1; 1,0; 10
Граничная частота фильтра нижних частот, кГц	0,1; 1; 3; 10; 22,4; 30; 100
Усиление, дБ	–20–+60
Размеры: высота, ширина, глубина, мм	90, 144, 230
Масса, кг	3

Таблица 6

Table 6

Технические характеристики осциллографа Hantek DSO 1062B

Technical Specifications of the Hantek DSO 1062B Oscilloscope

Характеристики	Значение
Аналоговая полоса пропускания, МГц	60
Максимальная частота дискретизации, МГц	1000 при одном канале; 500 при двух каналах
Количество каналов	2
Время нарастания, нс	5,8
Габаритные размеры, мм	245×163×52
Масса, кг	1,3

В качестве генератора сигналов применяется звуковая карта персонального компьютера с частотой дискретизации 192 кГц. С линейного выхода компьютера моделируемый сигнал поступает на вход усилителя звуковой частоты КАР-47. Его основные характеристики приведены в таблице 8 [14]. После усиления сигнал подаётся на согласующий трансформатор и на излучающий гидрофон.

Таблица 7

Table 7

Основные характеристики АЦП фирмы L-Card

Main characteristics of the ADC from L-Card

Характеристики	Значение	
	E20-10	E14-440
Частота дискретизации, МГц	10	0,4
Разрядность АЦП	14	14
Количество каналов	4	16; 32
Напряжение входного сигнала, В	$\pm 3; \pm 1; \pm 0,3$	$\pm 10; \pm 2,5; \pm 0,625; \pm 0,156$
Габаритные размеры, мм	140×110×35	140×96×30
Масса, г	350	200

Таблица 8

Table 8

Технические характеристики усилителя звуковой частоты КАР-47

Technical specifications of the KAP-47 audio frequency amplifier

Характеристики	Значение
Выходная мощность, Вт	100
Частотный диапазон, Гц	20-20000
Входная чувствительность, В	0,15-5
Количество каналов	4
Габаритные размеры, мм	250×55×450

Для проведения экспериментов также используются эхолоты Garmin и Lowrance (рис. 6). Оба эхолота являются многофункциональными, оснащены цветными экранами, имеют встроенный модуль GPS, позволяющий планировать и создавать маршруты. Эхолоты способны построить собственную карту глубин, также они работают в режиме гидролокатора бокового обзора (ГБО). Для эхолота Lowrance предусмотрена регистрация сигналов на SD-карту. Основные характеристики эхолотов приведены в табл. 9 [15, 16].

a)



a) б)



b)

Рис. 6. Экраны эхолотов: а — Garmin; б — Lowrance

Fig. 6. Screens of Echo Sounders: a — Garmin; b — Lowrance

Основные характеристики эхолотов Garmin и Lowrance

Main characteristics of Garmin and Lowrance echo sounders

Характеристики	Значение	
	Garmin	Lowrance
Частотный диапазон, кГц	Эхолот 50/77/200; ГБО 260/455/800.	Эхолот 50/83/200; ГБО 455/800
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+70	-15...+55
Размеры по высоте, глубине и ширине, мм	235; 58; 140	160,8; 63,7; 219,5
Масса, кг	0,8	0,73

В настоящее время для проведения экспериментов по исследованию отражающих свойств объектов изготовлены следующие модели: сплошные стальные сферы диаметром 2 см, 3 см, пустотелые стальные сферы диаметром 3 см, 5 см, 8 см и пустотелые стальные цилиндры диаметром 2,5 и 3 см, длиной 30 см, с оконечностями, представляющими две полусферы диаметром 2,5 и 3 см. Внешний вид моделей показан на рис. 7.



Рис. 7. Внешний вид моделей

Fig. 7. Appearance of the models

3. Математическая модель бассейна

Для оценки возможностей проведения экспериментальных исследований в гидроакустическом бассейне, отработки методик и анализа результатов разработана математическая модель бассейна. В случае, когда температура в бассейне постоянна на момент проведения эксперимента ($T = \text{const}$), скорость звука в бассейне также постоянна $C = C(T) = \text{const}$.

Суммарное акустическое поле в точке измерения может быть рассчитано модифицированным методом мнимых источников при прямолинейном распространении акустических волн. В этом случае учитываются отражения не только от дна и поверхности, но и от боковых стенок бассейна.

При использовании в качестве зондирующих сигналов коротких импульсов суммарное поле определяется формулой [17]:

$$S(t) = \sum_0^K S_k \left(t - \frac{r_k}{C} \right), \quad (1)$$

где S_k — давление сигнала, распространяющегося по k -й трассе с учётом коэффициента отражения и длины трассы, Па; $S_k = S/r_k$ здесь S — модель сигнала на расстоянии 1 м; r_k — длина k -й трассы, м; K — количество трасс. Нулём обозначена трасса распространения прямого сигнала.

При использовании непрерывных тональных сигналов суммарное поле определяется формулой:

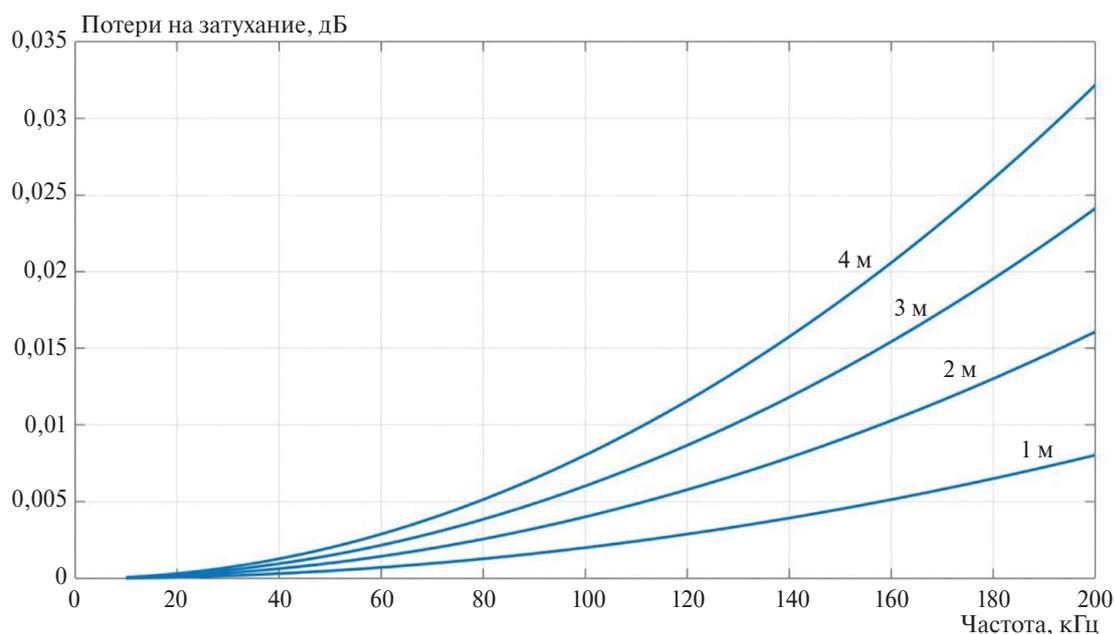
$$S(t) = \sum_0^K A_k \left(\omega t - \frac{\omega \Delta r_k}{C} \right), \quad (2)$$

где A_k — амплитуда сигнала, распространяющегося по k -й трассе с учётом коэффициента отражения и длины трассы, Па; $A_k = A/r_k$ здесь A — амплитуда сигнала на расстоянии 1 м; Δr_k — разность длин k -й и нулевой трассы, м; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота сигнала, радиан/с.

Проведена оценка потерь на затухание при распространении сигнала в бассейне на расстояния 1, 2, 3 и 4 м в зависимости от частоты (рис. 8). Для дистиллированной воды теоретический коэффициент затухания определяется по формуле [1]:

$$\beta = 6.7 \cdot 10^{-11} \cdot f^2, \quad (3)$$

где β — коэффициент затухания, дБ/км; f — частота, Гц. Однако теоретический коэффициент затухания составляет одну треть от измеренного. При расчётах это обстоятельство было учтено. Максимальные потери сигнала на частоте 200 кГц при распространении на расстояние 4 м составили величину 0,032 дБ. Столь малую величину можно не учитывать при проведении моделирования сигналов.



Цифры у кривых соответствуют расстояниям распространения сигнала

Рис. 8. Потери на затухание при распространении сигналов в бассейне

Fig. 8. Attenuation losses in signal propagation in the water tank

В зависимости от частоты импульсов, используемых при оценке отражающих свойств моделей, они линейно могут быть пересчитаны на размеры реальных объектов в натуральных условиях. Так, например, для частоты 200 кГц модель цилиндра длиной 30 см и диаметром 3 см будет соответствовать, при использовании в натуральных условиях импульсов частотой 2 кГц, реальному объекту длиной 30 м и диаметром 3 м, а для импульсов частотой 1 кГц — объекту длиной 60 м и диаметром 6 м.

4. Оценка качества звукозаглушения бассейна

Качество измерений в заглушенном бассейне оценивается величиной акустического отношения [18]:

$$R = \frac{P_O^2}{P_{\Pi}^2}, \quad (4)$$

где P_O — суммарное звуковое давление отражённых сигналов, приходящих в точку приёма, Па; P_{Π} — звуковое давление, поступающее от источника по прямому пути в точку приёма, Па. Если $R < 0,16$, то влиянием отражённых сигналов в большинстве случаев можно пренебречь. Несмотря на наличие заглушающих конструкций, часто применяют импульсный режим работы, выбирая длительность импульса $\tau < \frac{d}{2C}$, где d — наименьший габарит бассейна, м.

Проведено моделирование сигналов, отраженных от поверхностей бассейна. На рис. 9 показаны расположение гидроакустического излучателя — Z и приёмника (гидрофона) — P , а также траектории звуковых лучей, однократно отразившихся от поверхностей бассейна. Расстояние по трассам 1–6 определяются по формулам:

$$r_1 = \sqrt{4(B-b)^2 + r^2}; r_2 = \sqrt{4(H-h)^2 + r^2}; r_3 = \sqrt{4h^2 + r^2}; r_4 = \sqrt{4b^2 + r^2};$$

$$r_5 = 2l + r; r_6 = 2(L-l) - r.$$
(5)

Разности времён прихода сигналов от излучателя к приёмнику по трассам рассчитываются по формуле

$$\Delta\tau_i = \frac{r_i - r}{C},$$
(6)

где r_i — длина i -й трассы, м.

Рис. 9. Траектории лучей от излучателя к приёмнику в гидроакустическом бассейне. Буквами обозначены: L, B, H — размеры бассейна: длина, ширина и глубина соответственно; r — расстояние между излучателем и приёмником, h — глубина расположения излучателя и приёмника, l — расстояние от короткой стенки бассейна до излучателя, b — расстояние от передней стенки бассейна до излучателя и гидрофона; цифрами обозначены области однократного отражения лучей, распространяющихся по траекториям: 0 — ZP; 1 — Z1P; 2 — Z2P; 3 — Z3P; 4 — Z4P; 5 — Z5P; 6 — Z6P

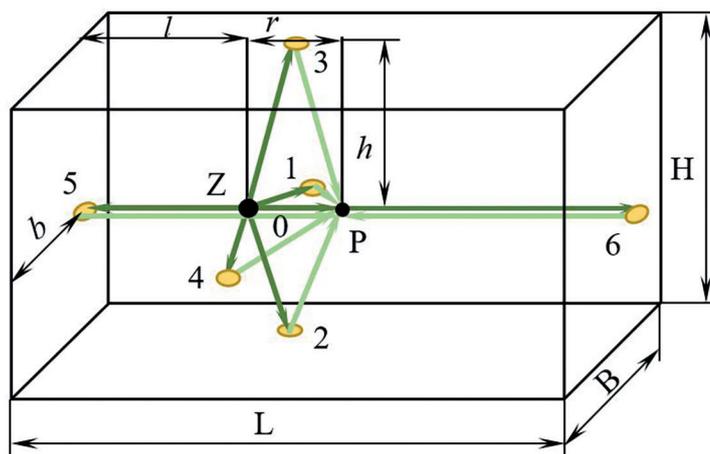


Fig. 9. Trajectories of rays from the emitter to the receiver in the hydroacoustic water tank. The letters denote: L, B, H — dimensions of the water tank: length, width, and depth, respectively; r — distance between the emitter and receiver; h — depth of the emitter and receiver placement; l — distance from the short wall of the pool to the emitter; b — distance from the front wall of the water tank to the emitter and hydrophone. The numbers indicate areas of single reflection of rays propagating along the trajectories: 1 — Z1P; 2 — Z2P; 3 — Z3P; 4 — Z4P; 5 — Z5P; 6 — Z6P

На рис. 10 приведены результаты регистрации реального сигнала (в верхней части рисунка) и компьютерного моделирования при условии идеального отражения акустических импульсов от поверхностей бассейна (в нижней части рисунка).

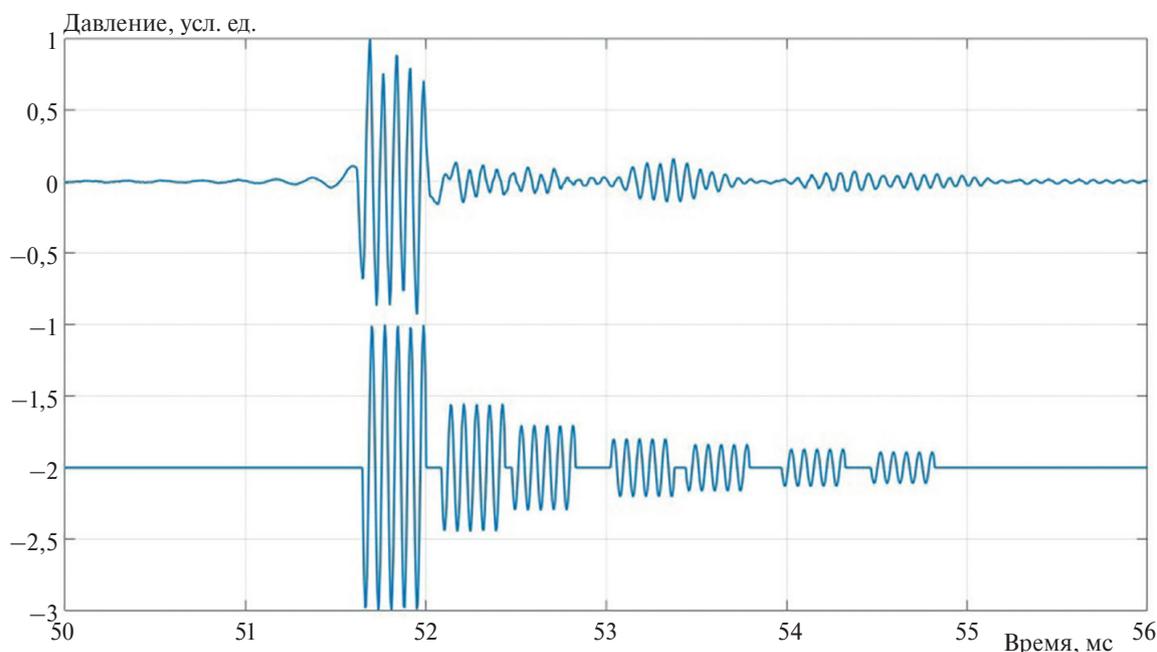


Рис. 10. Регистрация и моделирование импульсных сигналов в бассейне

Fig. 10. Registration and modeling of pulse signals in the water tank

Проведены измерения отраженных сигналов от поверхностей бассейна в диапазоне частот от 14 до 30 кГц. В соответствии с формулой (4) значение величины R не превысило 0,08, что соответствует удовлетворительной степени заглушенности бассейна.

5. Заключение

Таким образом, созданный и введенный в строй гидроакустический бассейн Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук представляет собой уникальный научно-исследовательский комплекс, оснащенный современными средствами моделирования, излучения, приёма, обработки и анализа гидроакустических сигналов. Он позволяет проводить:

- исследования характеристик макетов излучающих и приёмных гидроакустических антенн;
- исследования отражающих свойств объектов различных формы и материала с масштабированием полученных результатов на реальные объекты;
- исследования отражающих свойств биологических объектов (рыб);
- регистрацию шумоизлучения макетов подводных техногенных объектов;
- регистрацию сигналов биологических объектов (рыб);
- исследования акустических характеристик звукопоглощающих материалов;
- исследования акустических характеристик воздушных пузырьков;
- исследования методов формирования и излучения гидроакустических сигналов;
- исследования методов приёма гидроакустических сигналов;
- физическое моделирование функционирования макетов гидроакустических устройств различного назначения;
- оценку работоспособности малогабаритных образцов гидроакустических средств;
- исследования формирования акустических полей в вертикально стратифицированной водной среде.

Финансирование

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FMWE-2024-0029.

Funding

The work was performed under the State assignment FMWE-2024-0029.

Литература

1. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики / Пер. с англ. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
2. Опытные гидроакустические бассейны. URL: www.oceanpribor.ru (дата обращения: 5.11.2024).
3. Гидроакустические измерительные бассейны. URL: <http://old.akin.ru/> (дата обращения: 5.11.2024).
4. Геофизические исследования, акустика и гидроакустика. URL: <https://old.ipfran.ru/science/base.html> (дата обращения: 5.11.2024).
5. Кафедра акустики. Радиофизический факультет. Нижегородский университет им. Лобачевского URL: <https://rf.unn.ru/o-fakultete/struktura/kafedry/acoustic/> (дата обращения: 7.11.2024).
6. Уникальная научная установка. URL: https://sfedu.ru/www/stat_pages22.show?p=USC/main/M (дата обращения: 5.11.2024).
7. Широков В.А., Милич В.Н. Экспериментальный комплекс для исследования возможностей использования гидроакустических датчиков в системах подводного видения // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 4. С. 54–64. doi:10.22213/2413-1172-2021-4-54-64
8. Крыловский государственный научный центр URL: <https://krylov-centre.ru/activities/the-ship-acoustics/the-experimental-base-of/> (дата обращения: 08.11.2024).
9. Уникальная научная установка «Лабораторно-испытательный комплекс». Гидроакустический бассейн. URL: <https://spb.ocean.ru/wp-content/uploads/2021/04/Dokumentaciya-GAB.pdf> (дата обращения: 12.04.2024).
10. Сведения об изделии. Гидрофоны — типы 8103, 8104, 8105 и 8106. URL: <https://kiptm.ru/images/Production/bruel/Gidrofony-8103-8104-8105-8106-opisanie.pdf> (дата обращения: 12.04.2024).
11. Серия усилителей-формирователей NEXUS — типы 2690, 2691, 2692 и 2693 URL: https://kiptm.ru/images/Production/bruel/amplifiers_and_signal_conditioners/2692-A-NEXUS-Usilitel.pdf (дата обращения: 12.04.2024).
12. Hantek. Осциллографы цифровые портативные. Серия: Hantek DSO 1000B. Руководство по эксплуатации. URL: https://supereyes.ru/img/instructions/Hantek_DSO1000B_rumannual.pdf (дата обращения: 12.04.2024).

13. L–CARD. Измерительное оборудование. Каталог продукции. М.: Л КАРД, 2010. 98 с.
14. Руководство по эксплуатации усилителя. URL: <https://img.mvideo.ru/ins/261819.pdf> (дата обращения: 12.04.2024).
15. Garmin. URL: <https://www.garmin.ru/eholoty/catalog/striker/striker-vivid-7sv-no-transducer/#parameters> (дата обращения: 12.04.2024).
16. Lowrance. URL: <https://lowrance.ru/shop/elite-ti/lowrance-elite-7-ti/> (дата обращения: 12.04.2024).
17. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах, 2-е изд.: М: Наука, 1973. 343 с.
18. Евтутов А.П., Колесников А.Е., Ляликов А.П. и др. Справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение, 1982. 344 с.

References

1. Robert J. Urick. Principles of Underwater Sound, Third edition. USA, 1983. 416 p.
2. Experimental Hydroacoustic Pools. URL: www.oceanpribor.ru (accessed: 5.11.2024).
3. Hydroacoustic Measuring Pools. URL: <http://old.akin.ru/> (accessed: 8.11.2024).
4. Geophysical Research, Acoustics, and Hydroacoustics. URL: <https://old.ipfran.ru/science/base.html> (accessed: 5.11.2024).
5. Department of Acoustics. Radiophysical Faculty. Lobachevsky Nizhny Novgorod University. URL: <https://rf.unn.ru/o-fakultete/struktura/kafedry/acoustic/> (accessed: 7.11.2024).
6. Unique Scientific Installation. URL: https://sfedu.ru/www/stat_pages22.show?p=USC/main/M (accessed: 5.11.2024).
7. Shirokov V.A., Milich V.N. Experimental Complex for Investigating the Capabilities of Using Hydroacoustic Sensors in Underwater Vision Systems. *Bulletin of Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov*. 2021;24(4):54–64. doi:10.22213/2413-1172-2021-4-54-64 (in Russian).
8. Krylov State Scientific Center URL: <https://krylov-centre.ru/activities/the-ship-acoustics/the-experimental-base-of/> (accessed: 8.11.2024).
9. Unique Scientific Installation “Laboratory Testing Complex.” Hydroacoustic Pool. URL: <https://spb.ocean.ru/wp-content/uploads/2021/04/Dokumentaciya-GAB.pdf> (accessed: 12.04.2024).
10. Product Information. Hydrophones — Types 8103, 8104, 8105, and 8106. URL: <https://kiptm.ru/images/Production/bruel/Gidrofony-8103-8104-8105-8106-opisanie.pdf> (accessed: 12.04.2024).
11. NEXUS Amplifier-Formers Series — Types 2690, 2691, 2692, and 2693 URL: https://kiptm.ru/images/Production/bruel/amplifiers_and_signal_conditioners/2692-A-NEXUS-Usilitel.pdf (accessed: 12.04.2024).
12. Hantek. Digital Portable Oscilloscopes. Series: Hantek DSO 1000B. User Manual. URL: https://supereyes.ru/img/instructions/Hantek_DSO1000B_rummanual.pdf (accessed: 12.04.2024).
13. L–CARD. Measuring Equipment. Product Catalog. Moscow: L CARD; 2010. 98 p.
14. User Manual for Amplifier. URL: <https://img.mvideo.ru/ins/261819.pdf> (accessed: 12.04.2024).
15. Garmin. URL: <https://www.garmin.ru/eholoty/catalog/striker/striker-vivid-7sv-no-transducer/#parameters> (accessed: 12.04.2024).
16. Lowrance. URL: <https://lowrance.ru/shop/elite-ti/lowrance-elite-7-ti/> (accessed: 12.04.2024).
17. Brekhovskikh L.M. *Waves in Layered Media*, 2nd ed.: Moscow: Nauka; 1973. 343 p. (in Russian)
18. Evtutov A.P., Kolesnikov A.E., Lyalykov A.P. et al. *Handbook on Hydroacoustics*. L.: Sudostroeniye; 1982. 344 p. (in Russian).

Об авторах

РОДИОНОВ Анатолий Александрович, руководитель научного направления «Фундаментальная и прикладная гидрофизика» СПбФ ИО РАН, член-корреспондент РАН, профессор, ORCID: 0000-0002-2377-5621, Scopus AuthorID: 56223713100, WoS ResearcherID: AAT-6466-2021, SPIN-код (РИНЦ): 5277-4598, e-mail: rodionov.aa@spb.ocean.ru

НИКИТИН Дмитрий Алексеевич, ведущий научный сотрудник СПбФ ИО РАН, кандидат технических наук, e-mail: dan56fio@mail.ru

ФИЛИН Константин Борисович, начальник Лабораторного комплекса СПбФ ИО РАН, e-mail: filinkb@mail.ru

ШПИЛЕВ Николай Николаевич, научный сотрудник СПбФ ИО РАН, ORCID: 0000-0003-3638-3253, SPIN-код (РИНЦ): 9945-2125, e-mail: nn.shpilev@gmail.com

ПАНИЧЕВА Елизавета Дмитриевна, младший научный сотрудник СПбФ ИО РАН, SPIN-код (РИНЦ): 4674-9774, e-mail: l_pan99@mail.ru