

АВТОНОМНЫЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ РЕГИСТРАТОР

А.А. Тагильцев, М.Ю. Черанев, Р.А. Гончаров

Использование кабельных линий связи в гидроакустическом эксперименте сопряжено с большими трудозатратами, а зачастую является невозможным по техническим или методическим причинам. Кроме того, в задачах контроля шумоизлучения подвижного объекта испытаний акустическая обстановка в его ближнем поле обычно остается неизвестной. Данная проблема может быть решена путем использования в натурном эксперименте автономных приемных систем, ряд которых представлен на рынке. В статье обсуждаются возможности применения и характеристики разработанного авторами гидроакустического регистратора на основе цифрового диктофона как функционально законченного элемента акустического тракта. Регистратор в стереорежиме обеспечивает долговременную запись сигналов от двух гидрофонов и дополнительно оснащен датчиком глубины погружения с отдельной записью на SD-носитель. Применение цифровых диктофонов при реализации серии автономных гидроакустических регистраторов позволяет упростить технологию и удешевить процесс их изготовления, а также обеспечить идентичность технических характеристик в рамках изготовленной партии.

Ключевые слова: акустический регистратор, гидрофон, цифровой диктофон.

Введение

Одной из проблем регистрации гидроакустических шумов и сигналов в натурных условиях является подбор и размещение приемных систем на акватории. Если для оснащения стационарных полигонов приемные системы устанавливают обычно с использованием кабельных линий, обеспечивая наблюдение и измерения в реальном времени, то при кратковременных и оперативных работах предпочтительными являются дрейфующие или заякоренные автономные приемные устройства. В случае испытаний подвижных объектов они незаменимы, в том числе для контроля ближнего поля шумов, которое обычно остается неопределенным, и виброизмерений на конструктивных элементах объекта.

Многообразие задач, решаемых с помощью автономных приемных устройств в подводной акустике, вызвало появление на рынке достаточно большого их количества с широким спектром применения – от обеспечения гидроакустических измерений с высокими метрологическими характеристиками (<http://www.npo-akma.ru/> Гидроакустический регистратор DR-MS) до устройств для исследований в биоакустике. В качестве примера можно привести компактный гидроакустический 4-канальный регистратор

EA-SDA14 компании RTSYS SAS (<https://rtsys.eu/anti-submarine-warfare> EA SDA14).

В экспериментальной акустике часто требуются инструменты исследования, по количеству, функциям и характеристикам отвечающие поставленной задаче, при этом рыночные модели зачастую оказываются неприменимыми по совокупности требований, в том числе по соотношению цена/качество. Именно специфика задач определяет требуемые функции и технические характеристики устройств, поэтому, несмотря на имеющийся рынок, существуют стимулы к его развитию и продолжают развиваться новые и усовершенствованные существующих моделей. Например, актуальной задачей является сквозное тестирование приемного тракта регистратора, включая первичные преобразователи, с вычислением таких параметров приемного тракта, как коэффициент передачи, частотные и фазочастотные характеристики. Ее решению уделено внимание в описании полученного сотрудниками ТОИ ДВО РАН патента [1].

Ранее для выполнения оперативных экспериментальных исследований по изучению распространения низкочастотных акустических сигналов из области шельфа в глубокое море в ТОИ ДВО РАН был разработан, изготовлен и испытан комплект автономных цифровых гидроакустических регистраторов

ров, обеспечивающих непрерывную запись сигналов гидрофона и глубины его погружения на SD-карту в течение 36 часов [2].

Анализ практики эксплуатации регистраторов привел к задаче сокращения их габаритов, повышения надежности и удешевления производства небольших комплектов устройств с возможностью адаптации под существующие задачи. Кроме того, помимо записи акустических сигналов потребовалась одновременная регистрация гидрофизических параметров среды.

■ Автономные акустические регистраторы на базе цифровых диктофонов

В работе представлен новый вариант автономного гидроакустического регистратора, предназначенный для непрерывной, не менее 24 часов, регистрации звуковых колебаний в диапазоне низких и средних звуковых частот. Особенности нового устройства являются модульность конструкции, допускающая при необходимости оперативную замену датчиков, а также использование промышленного цифрового диктофона в качестве функционально законченного акустического тракта – от приема сигнала внешнего датчика до записи на внешний носитель.

Существуют примеры применения цифровых диктофонов в акустических регистраторах, и они представляются вполне очевидным и оправданным бюджетным техническим решением для устройств высокого риска утери в натурных условиях эксперимента. На рис. 1 приведен пример такого устройства μ RUDAR-mk2™ (micro Remote Underwater Digital Acoustic Recorder) компании Cetacean Research Technology (<https://www.cetaceanresearch.com/hydrophone-systems>).

Применение в регистраторе диктофона обусловлено также тем, что в настоящее время представленные на рынке цифровые диктофоны, даже среднего



Рис. 1. Гидроакустический регистратор μ RUDAR-mk2™

класса, имеют достаточно хорошие технические характеристики по чувствительности входа, частотному и динамическому диапазону, нелинейным искажениям, емкости памяти и времени непрерывной записи. Наличие опций, отключающих автоматическую регулировку усиления, регулирующих режимы и качество записи, а также компактность и виброустойчивость позволяют их с успехом адаптировать к применению в задачах гидроакустических измерений в диапазоне низких и средних звуковых частот. Большое разнообразие моделей диктофонов на рынке позволяет выбрать необходимую и по форм-фактору, что важно при компоновке устройства и выбору размеров гермоконтейнера, и по соотношению цена/качество.

Не вызывает проблем и подключение высокоимпедансных пьезоэлектрических датчиков (гидрофонов, акселерометров), поскольку достаточно добавить согласующие устройства на малошумящих полевых транзисторах или микросхемах к имеющимся гнездам микрофонного входа. Привлекательным также является подключение двух гидрофонов к стереовходу диктофона и запись гидрофизических

Таблица 1. Технические характеристики цифровых диктофонов

Показатель	Zoom H8	Sony ICD-BX140	Ritmix RR-820	мини Сорока 18
Частота дискретизации, кГц	96	48	48	32
Разрядность АЦП	24	24	32	16
Количество аудиоканалов	8	1	2	1
Наличие микрофонного входа	есть	нет	есть	нет
Максимальный объем памяти, Гб	512 (внешняя)	4 (встроенная) + 32 (внешняя)	4 (встроенная) + 32 (внешняя)	32 (внешняя)
Продолжительность работы, ч.*	15	43	25	30
Средняя цена, руб.	37000	6000	4200	15800
Страна-производитель	Китай	Китай	Китай	Россия

* При записи максимально высокого качества.

данных (давление, температура и пр.) на отдельную SD-карту.

Следует заметить, что диктофоны являются предметом массового спроса и имеют широкий диапазон применения, поэтому их производители обычно неохотно делятся сведениями о технических параметрах своих изделий, таких как чувствительность, собственный шум, частотный и динамический диапазоны. В большинстве случаев получить необходимые сведения можно только после тестирования уже приобретенного образца. В табл. 1 приведены основные технические характеристики некоторых моделей цифровых диктофонов (<https://www.dns-shop.ru/catalog/17a8a5f416404e77/diktofony-i-rekordery>, <https://labi2.ru/produkciya/miniaturnye-diktofony/>), различающихся динамическим диапазоном, числом каналов, объемом памяти и продолжительностью записи. Характеристики говорят о весьма широком диапазоне возможностей применения таких устройств в целях гидроакустического эксперимента.

После изучения предложений на рынке промышленных диктофонов был сделан выбор в пользу диктофона Ritmix RR-820 как наиболее оптимального по соотношению цена/качество.

■ Практическая реализация

В состав регистратора входят набор гидрофонов и акселерометров герметичного исполнения, датчик давления, набор термодатчиков и гермокорпус с электроникой.

Автономный гидроакустический регистратор в модульном исполнении позволяет расширить функциональные характеристики устройства, для чего используются соответствующие задаче исследования датчики. Сменные модули выполнены быстроремонтными и представляют собой комплекты из торцевых крышек и датчиков, причем кабели датчиков оснащены унифицированными гермовводами, что позволило упростить изготовление модулей и комбинировать датчики по необходимости с их установкой на оппозитных крышках гермокорпуса. С целью обеспечения акустической развязки по месту установки гидрофона, как и акселерометры, вынесены за пределы корпуса. Конструкция гермокорпуса допускает погружение на глубину до 1 км и обеспечивает легкий доступ к панели управления диктофона и элементам схемы устройства. Внешний вид регистратора представлен на рис. 2.

Регистрация сигналов осуществляется:

1) от акустических датчиков на два канала диктофона, дополнительно информация о глубине погружения записывается на отдельную SD-карту (рис. 3, А);

2) от акустического датчика на один канал диктофона, показания гидрофизического датчика (или глубина погружения) записываются на второй канал диктофона (рис. 3, Б).

Для согласования с микрофонным входом диктофона подключение гидрофонов и акселерометров производится через предусилитель на малошумящем полевом транзисторе, в усилителе предусмотрена

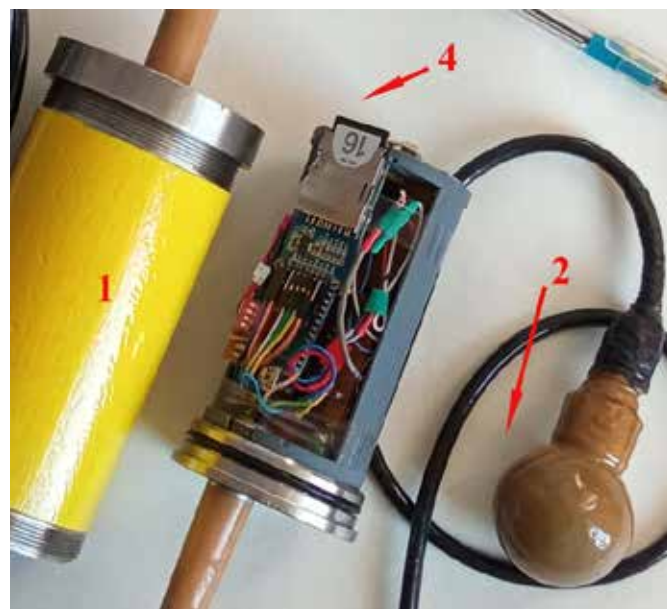


Рис. 2. Автономный гидроакустический регистратор:
1 – гермокорпус, 2 – гидрофон, 3 – диктофон, 4 – SD-карта и микроконтроллер

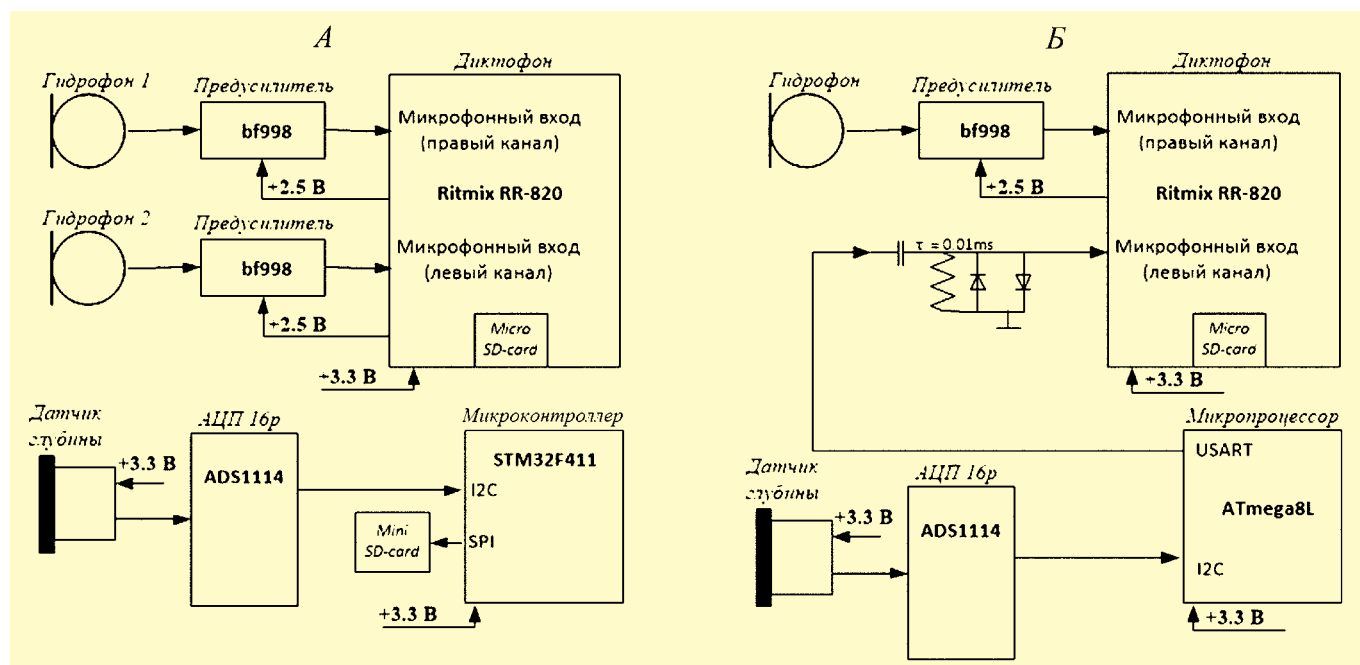


Рис. 3. Функциональная схема автономного гидроакустического регистратора: А - с двумя гидрофонами и записью давления на отдельную SD-карту, Б - с одним гидрофоном и записью давления на второй канал диктофона

возможность изменения коэффициента усиления ступенями.

Выбор качества акустической записи регулируется в меню диктофона и допускает параметры, представленные в табл. 2. В режиме LP проводились процедуры тестирования и калибровки.

Таблица 2. Режимы диктофона Ritmix RR-820

Режим (качество записи)	Частота дискретизации	Формат данных (разрядность)
HQ (Высокое)	48 кГц	WAV (32 p)
SP (Стандартное)	32 кГц	MP3 (32p)
LP (Низкое)	8 кГц	WAV (16 p)
NC (Шумоподавление)	16 кГц	WAV (16 p)

Поскольку диктофон является предметом промышленного производства и его основные характеристики гарантируются производителем, внутренние функции калибровок в целях упрощения схемы регистратора не предусмотрены. В то же время примененные в конструкции быстросъемные гермовводы позволяют демонтировать датчики и измерить их параметры на стендах или в метрологической лаборатории.

Так, частотный и динамический диапазоны комплекта гидрофонов исследовались на лабораторном стенде в водозаполненной камере малого объема, установленной на вибростоле, чувствительность определялась методом сравнения с образцовым ги-

дрофоном. Не вызывает проблем и калибровка других датчиков перед подготовкой регистратора к эксплуатации.

Гидроакустический регистратор, созданный на основе диктофона Ritmix RR-820, при тестировании на низких частотах в камере малого объема на вибростоле показал характеристики, представленные в табл. 3.

Таблица 3. Характеристики автономного гидроакустического регистратора

Параметр	Значение
Чувствительность гидрофона	160 мкВ/Па
Динамический диапазон, при THD < 10%	80 дБ
Коэффициент усиления, макс	1200
Полоса пропускания (-3дБ)	100–2000 Гц
Шум, приведенный к входу (в широкой полосе)	2 мкВ

Проверка динамического диапазона регистратора в камере на вибростоле показала, что 130 Па – максимальный входной сигнал, не превышающий при записи с данным усилением тракта регистратора 3% по нелинейным искажениям на частоте 600 Гц, что составило около 80 дБ. Ввиду линейности АЧХ гидрофона на низких частотах сквозная характеристика автономного акустического регистратора повторяет АЧХ диктофона.

Работоспособность автономного гидроакустического регистратора на базе цифрового диктофона проверена в натурных условиях эксперимента при организации акустических трасс большой протяженности, показав соответствие указанным характеристикам.

Заключение

Разработанный образец гидроакустического регистратора с новыми функциями и модульным типом исполнения позволил расширить диапазон применения в экспериментальных работах и значительно сократить время их выполнения, исключив задачу прокладки кабельных линий.

Применение цифровых диктофонов в автономных гидроакустических регистраторах позволяет не только упростить, но и удешевить процесс их изготовления, а также достичь идентичности характеристик в рамках изготавливаемой серии устройств.

Работа выполнена по госбюджетной тематике ТОИ ДВО РАН: «Разработка новых методов и средств исследования и освоения морских акваторий. Развитие методов диагностики и повышения эффективности функционирования сложных акустических систем» (регистрационный номер: ААА-А-20-120031890011-8)

ЛИТЕРАТУРА

1. Многоканальный цифровой регистратор сигналов: Пат. РФ 2616346 С1 / А.П. Леонтьев, С.Н. Ковалев – № 2016111551; заявл. 28.03.2016; зарег. и опубл. 14.04.2017, Бюл. № 11. – <https://patents.google.com/patent/RU2616346C1/ru>

2. Тагильцев А.А., Безответных В.В., Моргунов Ю.Н., Стробыкин Д.С. Экспериментальное тестирование распределенной вертикальной автономной приемной системы // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 47–53. DOI 10.25808/24094609.2019.28.2.006

Об авторах

ТАГИЛЬЦЕВ Александр Анатольевич, к.т.н., зав. лабораторией океанотехники.

Федеральное государственное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: гидроакустические антенны и преобразователи, акустические измерения.

Тел.: 8 (423) 2375698

E-mail: atagiltsev@poi.dvo.ru

ЧЕРАНЕВ Михаил Юрьевич, ведущий инженер лаборатории океанотехники.

Федеральное государственное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: инструментальные средства и технологии исследования гидрофизических параметров морской среды, разработка микропроцессорных устройств автоматизации измерений на океанологическом оборудовании.

Тел.: +79241238781

E-mail: ney38@mail.ru

ГОНЧАРОВ Рудольф Альбертович, ведущий инженер лаборатории океанотехники.

Федеральное государственное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: инструментальные средства и технологии исследования гидрофизических параметров морской среды

Тел.: +79242317226

E-mail: literss@mail.ru



AUTONOMOUS HYDROACOUSTIC RECORDER

A.A. Tagiltsev, M.Yu. Cheranov, R.A. Goncharov

The use of cable communication lines in a hydroacoustic experiment is associated with large labor costs, and is often impossible for technical or methodological reasons. In addition, in the tasks of controlling the noise emission of a moving test object, the acoustic environment in its near field usually remains unknown. This problem can be solved by using autonomous receiving systems in a natural experiment, a number of which are on the market. The article discusses the possibilities of application and characteristics of the hydroacoustic recorder developed by the authors based on a digital voice recorder as a functionally complete element of the acoustic path. The recorder in stereo mode provides long-term recording of signals from two hydrophones and is additionally equipped with an immersion depth sensor with separate recording on SD - carrier. The use of digital voice recorders in the implementation of a series of autonomous hydroacoustic recorders makes it possible to simplify the technology and reduce the cost of their manufacturing process, as well as to ensure the identity of the technical characteristics within the manufactured batch.

Key words: acoustic recorder, hydrophone, digital voice recorder.

References

1. Multichannel digital signal recorder: Pat. RF 2616346 C1. A.P. Leontiev, S.N. Kovalev No. 2016111551; dec. March 28, 2016; registered and publ. 04/14/2017, Bull. No. 11. <https://patents.google.com/patent/RU2616346C1/ru>
2. Tagiltsev A.A., Bezotvetnykh V.V., Morgunov Yu.N., Strobyskin D.S. Experimental testing of a distributed vertical autonomous receiving system. Underwater Investigations and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 47–53. DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.006.



About authors

TAGILTSEV Alexander Anatolyevich, Ph.D., associate professor, head of Laboratory for Ocean Research Equipment Development

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch
Russian Academy of Sciences

Address: 690041 Vladivostok, st. Baltic, 43

Research interests: hydroacoustic antennas and transducers, acoustic measurements.

Phone: +7 (423) 2375698

E-mail: atagiltsev@poi.dvo.ru

CHERANOV Mikhail Yurievich, lead engineer of Laboratory for Ocean Research Equipment Development

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch
Russian Academy of Sciences

Address: 690041 Vladivostok, st. Baltic, 43

Research interests: tools and techniques for studying hydrophysical parameters of marine environment, development of micro-processor-based measurement automation devices on autonomous oceanological equipment.

Phone: +79241238781

E-mail: ney38@mail.ru

GONCHAROV Rudolf Albertovich, lead engineer of Laboratory for Ocean Research Equipment Development

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch
Russian Academy of Sciences

Address: 690041 Vladivostok, st. Baltic, 43

Research interests: tools and techniques for studying hydrophysical parameters of marine environment.

Phone: +79242317226

E-mail: literss@mail.ru