Д.Г. Ковзель, В.А. Гриценко, А.Н. Рутенко,

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОНОМНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АКУСТИКО-ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОЛЛЮСК-19

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
ДВО РАН, Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43,
Тел.: (4232) 312120, E-mail: rutenko@poi.dvo.ru

Приводится описание вертикальной автономной акустико-гидрофизической измерительной системы Моллюск-19, разработанной и изготовленной в ТОИ ДВО РАН и предназначенной для мониторинга вертикальной структуры акустических и внутриволновых полей на шельфе. Работоспособность Моллюска-19 и его программного обеспечения иллюстрируются на примерах натуральных измерений.

Ключевые слова: сейсморазведка, распространение звука, акустико-гидрофизическая измерительная система

Вертикальная акустико-гидрофизическая система Моллюск-19 продолжила ряд разработанных и изготовленных в ТОИ ДВО РАН многоканальных измерительных систем Моллюск [1, 2]. Система вошла в состав измерительного комплекса Шельф-14 [3]. Все устройства, входящие в данный измерительно-регистрационный комплекс, аппаратно и программно унифицированы. Аналого-цифровое преобразование измеряемых величин производится в модулях датчиков (МД), и результаты передаются в регистратор по шине в цифровой форме. Такая организация системы исключает межканальное проникновение, снижает шумы электроники и наводки.

Схема постановки Моллюска-19 в море показана на рис. 1.

Рис. 1. Схема постановки Моллюска-19.

Конструктивно система представляет собой 12 измерительных модулей, распределенных по несущему тросу и соединенных отрезками кабеля между собой и с регистратором. Модули и кабели взаимозаменяемы и могут соединяться в любом порядке и любом необходимом количестве, что позволяет легко конфигурировать систему под задачи конкретного эксперимента. Два модуля оснащены датчиками глубины. Они размещены в верхней точке (12 по рис. 1) и в середине (7) измерительной линии.

Модуль регистратора, размещенный внизу измерительной линии, представляет собой донную станцию Шельф-14 [3], в которой модуль АЦП заменен submodule сопряжения с кабельной линией. Фиксация системы в точке постановки осуществляется якорем (рис. 1). При подъеме якорь сбрасывается при помощи акустического размыкателя.

Работу Моллюска-19 рассмотрим по функциональной схеме, представленной на рис. 2. Питание всей системы осуществляется от двух батарейных блоков по 40 батареек типоразмера D, размещенных в модуле регистратора. Работой всех частей регистратора управляет микроконтроллер PIC32MX795F512H. После включения питания этот контроллер начинает вырабатывать сигнал, синхронизирующий работу модулей

Рис. 2. Функциональная схема работы Моллюска-19.

датчиков. Этот сигнал подается на все МД параллельно. Результаты измерений в цифровой форме от МД продвигаются по измерительной линии к регистратору последовательно, ретранслируясь в каждом МД. Такое решение радикально снижает энергозатраты на передачу данных до регистратора.

Каждый МД имеет свой микроконтроллер (PIC32MX150F128B), управляющий работой датчиков измеряемых величин, АЦП и других узлов МД.

В качестве датчика акустического давления используется гидрофон МПУ, для аналого-цифрового преобразования применена микросхема AD7767-2 (как в станциях Шельф-14). Температура измеряется 13-разрядным цифровым термометром DS1624 с разрешением 0.03°C . В диапазоне температур $0-70^{\circ}\text{C}$ погрешность не превышает $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ и может быть повышена калибровкой. Для измерения глубины использованы прецизионные аналоговые датчики PDCR-1830 и встроенное в микроконтроллер 10-разрядное АЦП, что обеспечивает точность измерения глубины 10 см. Частота взятия отсчетов НЧ каналов (температура, глубина, напряжение питания, поступающее на схему МД с линии) равна 5 Гц. К НЧ информации добавляется также индивидуальный номер МД, записанный в идентификационную память контроллера. Наличие этого номера, однозначно связанного с аппаратной частью МД, позволяет идентифицировать его независимо от положения в измерительной линии. Все эти данные организуются в единый, нераздельный при передаче и записи, цифровой поток. Такая структура данных обеспечивает однозначность и надежность их распознавания при последующей обработке записей регистратора. Частота дискретизации акустического сигнала ограничивается скоростью записи на карту памяти по интерфейсу SPI – приблизительно 500 кБ/с. При 24-разрядном кодировании и 12-ти МД в составе системы частота дискретизации по каждому каналу не может превышать 14 кГц. В постановках 2019 г. использовалась частота дискретизации 5053 Гц. Чувствительность гидрофонов с предварительными усилителями по результатам кросс-калибровки составила 2.1–2.65 мВ/Па, что при размахе сигналов на входе АЦП $\pm 5\text{В}$ дает предельную амплитуду акустического давления, равную 1.9–2.4 кПа. Потребляемая мощность при частоте дискретизации 5053 Гц равна 2.6 Вт. Время автономной работы определяется батареями питания и для 2-х блоков по 40 солевых батареек типа D составляет 23–28 суток.

Для мониторинга акустико-гидрофизических параметров во время сейсморазведки на Аркутун-Дагинском лицензионном участке Моллюск-2019 был установлен в точке Аркутун-Даги-62. Глубина моря в

этой точке была равна 62 м. Верхний 12 модуль с гидрофоном P.12, датчиком температуры T.12 и датчиком глубины D.2 оказался на горизонте примерно 6 м. На рис. 3 показаны вариации температуры, вызванные распространением нелинейных внутренних волн, амплитуда которых достигала 30 м. На рис. 3б приведены графики значений глубины, измеренные двумя датчиками гидростатического давления, расположенными в 7 и 12 МД. Эти измерения позволяют контролировать поверхностный прилив и отклонения Моллюск-2019 от вертикали, вызываемые приливными течениями и орбитальным движением частиц воды в распространяющихся внутренних волнах. Рис. 3в дает визуальное представление о профиле распространяющихся внутренних волн.

Акустические импульсы, представленные на рис. 3г, показывают распределение энергии сейсморазведочного сигнала переносимой водными модами в зависимости от горизонта и временного интервала.

Рис. 3. Вариации температуры воды, измеренные на 12 горизонтах – (а), изменения глубины, измеренные двумя датчиками гидростатического давления – (б), вариации температуры воды, рассчитанные по показаниям 12 датчиков температуры – (в) и акустические сейсморазведочные сигналы, измеренные на 12 горизонтах – (г).

В заключении авторы выражают благодарность компании Эксон Нефтегаз Лимитед за поддержку данной работы.

Литература

1. Рутенко А.Н. Вертикальная акустико-гидрофизическая антенна «Моллюск-97» // Приборы и техника эксперимента. 1998. № 5. С. 141–144.
2. Ковзель Д.Г., Рутенко А.Н., Ущиловский В.Г. Автономная вертикальная акустико-гидрофизическая измерительная система «Моллюск-07» // Приборы и техника эксперимента. 2008.
3. Рутенко А.Н., Борисов С.В., Ковзель Д.Г., Гриценко В.А. Радиогидроакустическая станция для мониторинга параметров антропогенных импульсных и шумовых сигналов на шельфе // Акуст. журн. 2015. Т. 61. № 4. С. 500–511.

D.G. Kovzel, V.A. Gritsenko, A.N. Rutenko

FIELD TRIALS OF SELF-CONTAINED VERTICAL ACOUSTIC-AND-HYDROPHYSICAL MEASUREMENT SYSTEM MOLLUSK-19

*Pacific Oceanological Institute Named After V.I. Ilyichov
Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch
Baltiyskaya Street, 43, Vladivostok, 690041, Russia
Tel.: 8 (4232) 31-21-20, E-mail: rutenko@poi.dvo.ru*

Described is the vertical self-contained acoustic-and-hydrophysical measurement system Mollusk-19 developed and manufactured at the Pacific Oceanological Institute Named After V.I. Ilyichov, Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch (TOI DVO RAN) and designed for monitoring vertical structure of acoustic and intra-wave fields on the shelf. Performance capability of Mollusk-19 and its software are illustrated through examples of on-site measurements.

Keywords: seismic survey, sound propagation, acoustic hydrophysical measuring system

Acknowledgment: In conclusion, the authors would like to thank Exxon Neftegas Limited for their support of this work.

References

1. Rutenko A.N. Vertical acoustic-and-hydrophysical antenna Mollusk-97. Pribory i tekhnika eksperimenta. 1998, No. 5, pp. 141–144.
2. Kovzel D.G., Rutenko A.N., and Uschipovskiy V.G. Self-contained vertical acoustic-and-hydrophysical measurement system Mollusk-07. Pribory i tekhnika eksperimenta, 2008.
3. Rutemko A.N., Borisov S.V., Kovzel D.G., and Gritsenko V.A. Radio hydroacoustic station for monitoring parameters of maninduced impulse and noise signals on the shelf. Akusticheskiy zhurnal, 2015, Vol. 61, No. 4, pp. 500–511.