

УДК: 550.34.03

АВТОНОМНЫЙ БУЙ ЛЕДОВОГО КЛАССА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ РЕГИСТРАЦИЮ ГЕОГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Преснов Д.А.¹, Агафонов В.М.², Груздев П.Д.³, Собисевич Л.Е.¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, presnov@physics.msu.ru

²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный

³ОАО «Концерн «МПО – Гидроприбор», г. Санкт-Петербург

Введение

Задача освоения Арктики является сегодня одной из приоритетных для развития Российской Федерации и ставит перед нашими учёными ряд интереснейших проблем. Последние достижения в этой области [6, 8], позволяют одновременно изучать характеристики морского дна, водного слоя и ледового покрова путём измерения полного геогидроакустического поля при помощи сейсмических и векторных акустических приёмников [5, 1]. Развитие предложенной технологии потребовало разработки нового измерительного прибора – вмораживаемого геогидроакустического буя, который позволяет вести измерения одновременно и на льду, и в водной среде. Основное внимание настоящей работы уделялось чувствительному элементу, вмораживаемому в лёд и действующего по принципу сейсмометра велосиметра.

Принципы работы и устройство геогидроакустического измерительного модуля

Сейсмический измерительный модуль предназначен для осуществления автономной регистрации сейсмического сигнала до нескольких недель, накопления и передачи данных по проводному или беспроводному интерфейсу, удаленной проверки надлежащей работы и для объединения нескольких модулей в единую телесеismicкую сеть. В состав устройства функционально входит три основных модуля, рис. 1, аналоговый однокомпонентный молекулярно-электронный измеритель типа СМЕ-4211V (1), источник тока, обеспечивающий работу всех узлов системы (2), регистратор сейсмических сигналов типа NDAS-8224 (3).

Аналоговый сейсмический датчик (1) работает на принципах молекулярно-электронного переноса [2]. Внешние сейсмические возмущения благодаря силам инерции вызывают перетекание рабочей жидкости датчика через электрохимическую ячейку устройства. Возникновение конвективного потока в преобразователе меняет установившийся в системе характер распределения концентрации основных носителей заряда, что вызывает вариации катодного тока эквивалентные внешнему возмущающему сигналу. Сейсмические датчики, построенные по технологии МЭП являются чрезвычайно надежными приборами, они не требуют ни специальных средств, ни специальных методик при транспортировке и установке, не требуют обслуживания, арретирования и центрирования массы и хорошо подходят для полевых измерений, а также быстрого развертывания сейсмической сети [4].

Источник питания (2) построен на основе цилиндрических литий-ионовых элементов питания. Общий размер аккумулятора, упакованного в единый корпус, составляет 51 x 56 x 77mm, а общая емкость батареи при комнатной температуре ~ 7000 mAh. Номинальное напряжение, выдаваемое батареей 9 – 12.6В. Поскольку цифровой блок (3) и аналоговый молекулярно-электронный измеритель (1) имеют разные напряжения питания (+5В и +12В соответственно) предусмотрена специальная плата согласования, преобразующая напряжение батареи в +5В, питающих цифровой регистратор.

Регистратор (3) предназначен для использования в составе автономных систем сбора данных с батарейным питанием. Он основан на аналого-цифровом преобразователе типа сигма-дельта с 22 эффективными разрядами. Частота оцифровки выбирается из диапазона: 1, 10, 50, 100, 250, 500, 1000 Гц. Применяемый модуль отличается малым энергопотреблением – менее 300 мВт в процессе регистрации, что позволяет при заданных габаритах устройства существенно увеличить время автономной работы. Для передачи данных и конфигурирования системы используются проводное USB или беспроводное Wi-Fi соединение, разъем (4) на рис. 1, а 32 Гб внутренней памяти позволяют вести длительную регистрацию данных в автономном режиме. В регистраторе имеются цепи для подачи тестовых сигналов на сейсмические датчики, а также питание $\pm 2.5В$. Интегрированный модуль GPS позволяет синхронизировать сейсмические события с точным мировым временем,

автономно запускать и останавливать запись по заданному расписанию, идентифицировать пространственную точку расположения измерительного модуля на земной поверхности для индивидуализации модулей в телесеismicической сети. Геогидроакустический измерительный модуль помещен в прочный герметичный корпус, способный выдержать давление при установке на шельфе при глубине до 300 метров.

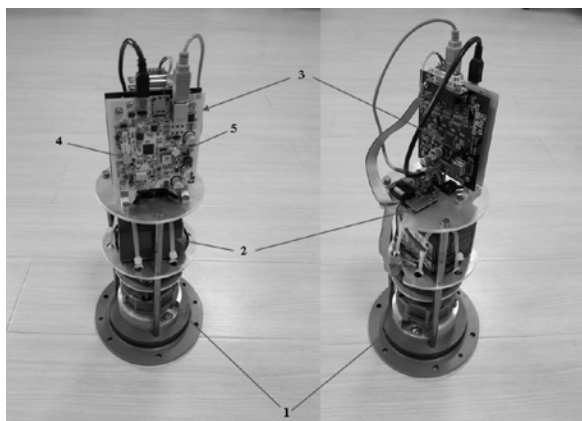


Рис. 1. Устройство геогидроакустического модуля.
1 – аналоговый молекулярно-электронный вертикальный сейсмический датчик,
2 – литий-ионная батарея емкостью 7000 миллиампер-часов с платой согласования,
3 – 24 разрядный регистратор сейсмических сигналов,
4 – разъем подключения внешней антенны Wi-fi,
5 – разъем подключения внешней антенны GPS.

Лабораторно-стендовые испытания геогидроакустического измерительного модуля

Сверка трех образцов геогидроакустических буев ледового класса выполнялась на постаменте Геофизической службы РАН в г. Обнинск с 30.08.2017 по 08.09.2017. В качестве эталонного сейсмометра использовался велосиметр Streckeisen STS-1V/VBB, который является чувствительным элементом постоянно действующей сейсмической станции Обнинск (OBN), кроме того, были проанализированы данные с велосиметра Guralp CMG-3ESP. Следует отметить, что частотные характеристики, заявленные изготовителями, должны быть идентичны в полосе частот 0.03-10 Гц.

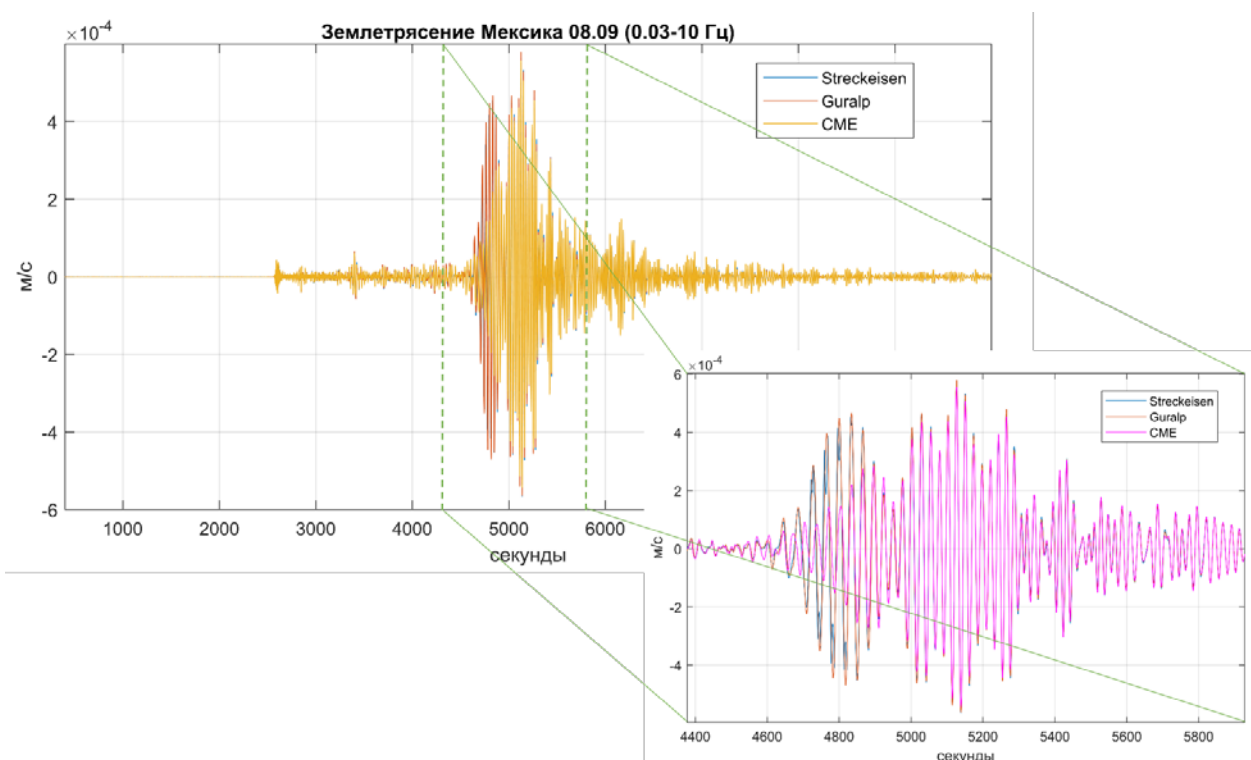


Рис. 2. Сопоставление чувствительного элемента геогидроакустического буя с ведущими мировыми приборами.

Streckeisen и Guralp имеют приемлемую чувствительность вплоть до периодов 250 и 100 секунд соответственно, имеющиеся данные ограничены частотой Найквиста сверху - 10 и 20 Гц. В настоящей работе рассматривается частотный диапазон 0.03-10 Гц. Сейсмостанции расположены в месте, защищенном от посторонних шумов лесополосой. Сам геофизический постамент находится на глубине ~20 м, температура составляла ~12°C, так же была отмечена сильная влажность.

Наиболее представительное событие, которое удалось обнаружить в мире за время измерений – это землетрясение магнитудой 8.1, произошедшее в Мексике 08.09.2017 в 04:49 по всемирному времени. На рис. 2 представлена синхронная запись этого события всеми тремя приемниками, отфильтрованная в частотном диапазоне 0.03-10 Гц, с учетом частотной характеристики прибора СМЕ (синхронизация выполнялась по максимальным значениям амплитуды, по причине невозможности принять сигнал GPS). Записи других приборов не калибровались, так как их АЧХ и ФЧХ можно считать линейными в указанной полосе частот. Обращает на себя внимание более низкая по сравнению с эталонными приборами чувствительность СМЕ на периодах больше 20 секунд. Этот недостаток может быть исправлен применением другого калибровочного коэффициента, что сделает записи абсолютно идентичными. Необходимо также отметить, что запись Guralp'a оказалась зашкалена на периодах выше 20 секунд.

Результаты испытаний наглядно демонстрируют, что применяемый в геогидроакустическом буйе новейший чувствительный элемент, основанный на принципах молекулярной электроники по точности не уступает мировым лидерам в производстве измерительного сейсмического оборудования. Подчеркнем, что молекулярно-электронные преобразователи сегодня начинают применяться в сейсморазведке на суше [4], под водой [3], а также проходят первые испытания в ледовых условиях [7]. Геогидроакустический ледовый буй представляет законченный информационно-измерительный автономный прибор, в составе которого предусмотрено применение как сменных приемных модулей – комбинированных векторно-скалярных гидроакустических (0,01–2,5 кГц) и широкополосных молекулярно-электронных приемников (0,03–50 Гц) нового поколения. Информационно-измерительная система построена на основе 24-битного аналого-цифрового преобразователя, обеспечивающего регистрацию сигналов в большом динамическом диапазоне, что позволяет выполнять измерения при помощи аналоговых широкополосных датчиков как в пассивном, так и в активном режимах. Отличительной особенностью геогидроакустического буя является интеграция в его состав элементов питания, это приводит к возможности надёжной автономной работы всей измерительной системы в течении нескольких недель. Разработанные и созданные образцы геогидроакустических буйев предназначены для использования как самостоятельно, при проведении акустических, сейсмических, гидроакустических и сейсмоакустических измерений в море, или на суше (в том числе и в скважинах), так и в составе распределенных антенных систем ледового класса, предназначенных для мониторинга покрытых дрейфующими льдами морских акваторий.

Настоящее исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 18-05-70034), а также гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ-5545.2018.5.

Список литературы

1. Агафонов В.М., Авдюхина С.Ю., Егоров Е.В., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е. Патент РФ № 2650839 // Бюл. изобр. 2018. № 11.
2. Агафонов В.М., Егоров И.В., Шабалина А.С. Принципы работы и технические характеристики малогабаритного молекулярно-электронного сейсмодатчика с отрицательной обратной связью // 2013. Сейсмические приборы. Т. 49. № 1. С. 5–18.
3. Антонов А.Н., Авдюхина С.Ю., Егоров И.В., Жостков Р.А., Лиходеев Д.В., Преснов Д.А., Шабалина А.С. Широкополосная сейсмическая станция для сейсморазведки на морском дне и в транзитной зоне на основе молекулярно-электронных датчиков // 2017. Материалы научно-практической конференции «Сейсмические технологии- 2017». С. 64–67.
4. Горбенко В.И., Жостков Р.А., Лиходеев Д.В., Преснов Д.А., Собисевич А.Л. Вопросы применимости молекулярно-электронных сейсмоприемников в пассивной сейсморазведке на примере изучения глубинного строения Калужской кольцевой структуры по данным анализа поверхностных волн // 2016. Сейсмические приборы. Т. 52. № 3. С. 5–19.
5. Гордиенко В.А., Гончаренко Б.И., Илюшин Я.А. Особенности формирования векторно-фазовой структуры шумовых полей океана // 1993. Акустический журнал. Т. 39. № 3. С. 455–466.
6. Дмитриченко В.П., Преснов Д.А., Руденко О.В., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Сухопаров П.Д., Тихоцкий С.А., Шуруп А.С. Патент РФ № 2646528 // Бюл. изобр. 2018. № 7.
7. Преснов Д.А., Жостков Р.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Натурные наблюдения сейсмоакустических волн в условиях покрытого льдом водоема // 2017. Известия Российской академии наук. Серия физическая. Т. 81. № 1. С. 76–80.
8. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Жостков Р.А., Собисевич Л.Е., Шуруп А.С., Лиходеев Д.В., Агафонов В.М. Геогидроакустический шумовой мониторинг подледных акваторий северных морей // 2017. Наука и технологические разработки. Т. 96. № 3. С. 31–46.