

Аппаратура и методика регистрации акустических сигналов морских сейсмических источников

Гуленко В.И., Кубанский госуниверситет, г. Краснодар, Бадиков Н.В., ООО «ПУЛЬС», Шумский Б.В., ФГУП ГНЦ «Южморгеология», г. Геленджик

Решение новых, более сложных геологических задач при сейсморазведке на акваториях предполагает постоянное совершенствование всего аппаратурно-методического комплекса и, в частности, источников. Дальнейшее повышение разрешающей способности морской сейсморазведки, наряду с использованием соответствующих приемно-регистрирующих устройств, требует и обязательного применения достаточно мощных источников, возбуждающих более высокочастотные и широкополосные сигналы, не осложненные пульсациями.

Достижение этой цели обычно осуществляется применением сложных линейных или площадных неоднородных пневматических групп, содержащих в своем составе иногда десятки пневматических излучателей, объединенных в ряд подгрупп (кластеров) [1]. При создании таких источников одной из наиболее важных задач является экспериментальное исследование акустических характеристик отдельных пневматических излучателей и составленных из них кластеров и групп. Целью подобных исследований обычно является определение основных зависимостей амплитудных, временных и частотных характеристик излучаемых акустических сигналов от условий возбуждения и параметров конструкций для всего ряда группируемых излучателей. Полученные при этом характеристики используются при выборе конкретных конфигураций неоднородных пневматических групп [1, 3].

В настоящей работе в качестве примера рассмотрены аппаратура и методика регистрации акустических сигналов морских сейсмических источников, применяемые в последние годы при изучении акустических характеристик пневматических групп в ГНЦ ФГУП «Южморгеология» и в

ООО «ПУЛЬС» [3].

Исследования проводились на акватории Черного моря в районах с глубиной не менее 500 м. Работа выполнялась в дрейфе, при этом регистрация акустических сигналов осуществлялась с помощью аппаратурного комплекса, блок-схема которого, а также схема измерений приведены на рис. 1.

Назначение, состав и краткие технические характеристики программно-аппаратного комплекса "ИМПУЛЬС"

Программно-аппаратный комплекс «Импульс» был специально разработан для регистрации, хранения и обработки акустических сигналов морских сейсмических источников в реальных морских условиях [1].

В состав комплекса «Импульс» входят следующие элементы: двухканальная плата АЦП и масштабных усилителей с электронным переключением диапазонов измерения, устанавливаемая в гнездо расширения персонального компьютера; кабельная коробка с разъемами и соединительными линиями; программное обеспечение комплекса, содержащее основную управляющую программу, а также ряд вспомогательных и информационных файлов, составляющих специализированную базу данных.

Конструктивно двухканальный АЦП и МУ выполнен на одной печатной плате, вставляемой в разъем расширения компьютера. На плате расположены два идентичных канала преобразователя и интерфейс связи с шиной ЭВМ. Для подключения внешних сигналов плата снабжена разъемом, к контактам которого подключается входной сигнал первого канала, входной сигнал второго канала, сигнал внешнего запуска

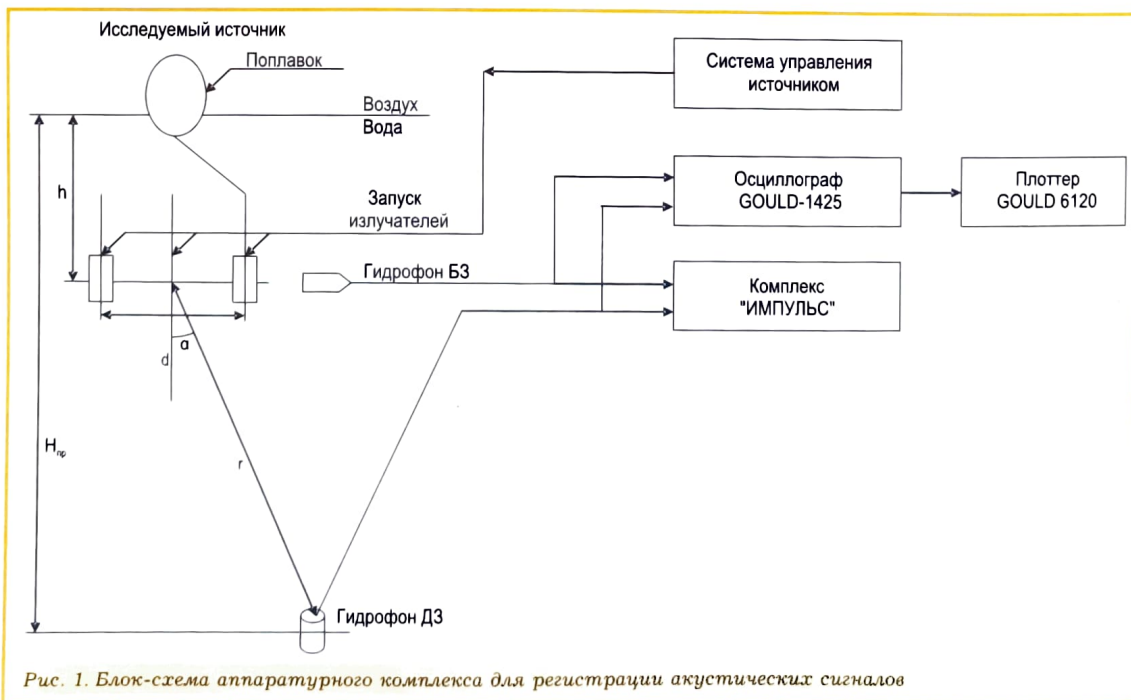


Рис. 1. Блок-схема аппаратурного комплекса для регистрации акустических сигналов

Основные характеристики комплекса

количество каналов АЦП и МУ	2 (ближняя и дальняя зоны)
количество разрядов АЦП	10+знак
время преобразования АЦП, мкс	35
тип преобразования АЦП	поразрядное уравнивание
дискретность квантования сигналов, мс	0,25; 0,5; 1,0 и 2,0
диапазоны измерения входного сигнала, В	$\pm 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5;$ 10, 20, 50; 100; 200
входное сопротивление каналов, МОм	1,0
полоса пропускания аналогового тракта (без учета гидрофона), Гц	0-10 000
диапазон частот регистрируемых сигналов, Гц	0-2 000
запуск регистрации	внешний/внутренний
задаваемая задержка запуска,	
число отсчетов	± 256
размер буфера регистрации (по каждому каналу), число отсчетов	1024

отрицательный импульс уровня ТТЛ. На этот же разъем выведено питание забортных схем согласующих усилителей гидрофонов: +12 В, 12 В и «общий». Переключатели, расположенные на внешней колодке платы (на задней панели ЭВМ), обеспечивают переключение входов каналов с «открытого» входа (по постоянному току) на емкостный вход (по переменному току).

Программное обеспечение комплекса «Импульс» компьютерная программа IMPULS.EXE предназначено для работы в среде MS-DOS и реализует широкий набор функций по управлению сбором и обработке информации, по созданию и обслуживанию базы данных библиотеки сигналов. При этом из каждого режима, в любой точке программы нажатием клавиши F1 может быть вызвана контекстная справка, содержащая все необходимые пояснения к выполняемому фрагменту.

Кроме описанного комплекса «Импульс» в ходе эксперимента экспресс-визуализация регистрируемых сигналов, а также дополнительный контроль дистанции от излучателя до гидрофона в дальней зоне осуществлялись двухлучевым цифровым запоминающим осциллографом GOULD-1425 с входным сопротивлением 1 МОм (с делителем 10 МОм), с неравномерностью частотной характеристики в диапазоне от 0 до 20 МГц не более 3 дБ, с погрешностью измерения временных интервалов и амплитуд не более 3 %. Входящий в комплект плоттер GOULD-6120 обеспечивал вывод цифровой информации по каждому каналу на бумагу в аналоговом виде.

В качестве приемника акустических сигналов в дальней зоне использовался калиброванный гидрофон типа ЮМГ-10, имеющий чувствительность 11,0 В/бар. В ближней зоне был применен экспериментальный гидрофон Г-01 с чувствительностью около 4,2 В/бар.

В кабельной головке каждого гидрофона установлено согласующее устройство, предназначенное для согласования высокоомного выхода пьезокерамического гидрофона с кабельной линией и входными цепями платы АЦП и МУ и представляющее собой операционный усилитель с коэффициентом передачи 1,0 в интервале частот от 0,5 Гц до сотен кГц.

Методика измерений и условия проведения экспериментов

При морских испытаниях источников регистрация сигналов обычно проводится при размещении приемников относительно источника по схеме, условно изображенной на рис. 1. Регистрация сигналов проводится одновременно в ближней и дальней зонах.

В ближней зоне (БЗ) гидрофон располагается на расстоянии около 1,5 м от первого излучателя группы (кластера). Принимаемый им сигнал используется для синхронизации запуска регистрирующей аппаратуры, а также для определения момента начала излучения при измерении дистанции до гидрофона в дальней зоне по времени пробега упругой волны со скоростью $c = 1500$ м/с.

В дальней зоне (ДЗ) регистрируется сформировавшийся сигнал источника. При этом расстояние r от источника до приемника ДЗ и положение его в пространстве выбирается так, чтобы:

а) разница между показателями расхождения прямой волны ($1/r$) и волны-спутника, т.е. волны, отраженной от поверхности воды ($1/(r+2h\cos\alpha)$, где α — угол отклонения гидрофона ДЗ от вертикали, проходящей через середину группы), была минимальна;

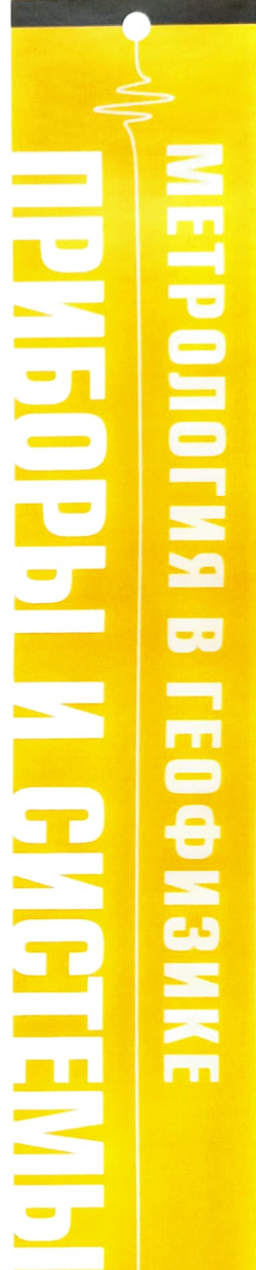
б) разница между временами пробега волн от крайних излучателей группы при базе группирования до 10 м при отклонении гидрофона ДЗ от вертикали составляла не более 1 мс, при этом гидрофон в процессе измерений должен находиться в пределах основного лепестка характеристики направленности для всех частот в полосе регистрации.

Исходя из этих требований, удаление гидрофона ДЗ от группы должно составлять не менее 80100 м. При этом с помощью дополнительного груза угол отклонения гидрофона от вертикали, проходящей через середину источника, должен удерживаться в пределах не более 2025°. В таком случае смещение первых минимумов интерференционных характеристик заглубления $f_{\min}$ (где $f_{\min} = 750/(h\cos\alpha)$) составит не более 10 % (до 35 Гц при $h = 2$ м).

Такого рода работы следует проводить при хороших погодных условиях: дрейф судна и волнение моря в процессе эксперимента не должны приводить к нарушению указанных выше условий.

На первом этапе работ при регистрации сигналов одиночных пневмоизлучателей разных объемов и составленных из них кластеров излучатели в различных комбинациях подвешивались на стальной раме (22 м или 25 м) или штанге длиной около 3 м и отстреливались при разных глубинах погружения (от 1 до 6 м) и разных рабочих давлениях ($P = 1015$ МПа). Некоторые серии, наиболее актуальные для формирования мощных низкочастотных групп, были продублированы также и при глубинах погружения до 30 м. Заполнение пневмоизлучателей сжатым воздухом производилось от судового компрессора, управление запуском излучателей и автоматическая синхронизация кластеров и групп осуществлялись контроллером «АСТРА» или другой аналогичной системой управления источником.

Экспериментальное исследование акустических характеристик опытных образцов морских сейсмических излучателей обычно предполагает регистрацию сигналов при разных значениях основных параметров, характеризующих условия



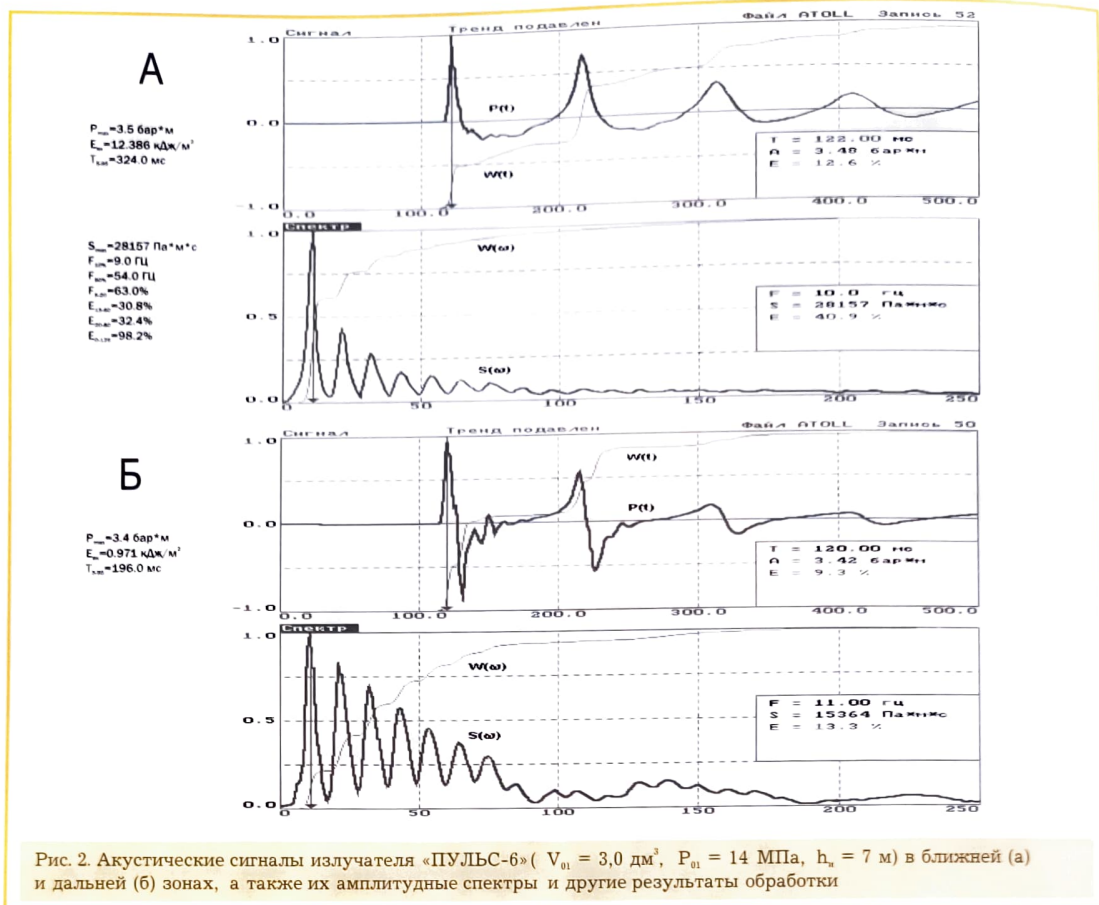


Рис. 2. Акустические сигналы излучателя «ПУЛЬС-6» ($V_{01} = 3,0 \text{ дм}^3$, $P_{01} = 14 \text{ МПа}$, $h_s = 7 \text{ м}$) в ближней (а) и дальней (б) зонах, а также их амплитудные спектры и другие результаты обработки

возбуждения: объемов рабочих камер излучателей, глубин их погружения, а также рабочего давления. Погрешность измерения перечисленных параметров во всех сериях не должна превышать 5 %.

Обработка акустических сигналов

В процессе регистрации акустических сигналов осуществляется автоматическое занесение их в базу данных на диске компьютера, при этом все параметры регистрирующей системы, а также основные сведения об условиях проведения эксперимента заносятся в этикетку каждого зарегистрированного сигнала. Последующая обработка сигналов производится в режиме их просмотра по полному стандартному графу той же программой IMPULS.EXE и предусматривает выполнение следующих процедур:

перевод зарегистрированных сигналов в единицы давления (барм) с акустическим пересчетом к удалению 1 м и подавлением тренда;

расчет и визуализация амплитудных спектров;

расчет интегральных функций распределения энергии (в дальней зоне плотности потока акустической энергии в пересчете на 1 м) по времени и по частоте, а также других локальных и интегральных характеристик [1, 2].

Основными из них являются следующие:

P_{max} - максимальная амплитуда сигнала, барм;

E_{a} - полная акустическая энергия сигнала (кДж), если сигнал зарегистрирован в ближней зоне, или плотность потока акустической энергии сигнала (кДж/м² на 1 м), если сигнал зарегистрирован в дальней зоне;

T_{5-95} - эффективная длительность сигнала по

уровням 595% энергии, мс;

S_{max} - максимальная амплитуда спектра, Па*м*с;

$F_{10\%}$ - нижняя граничная частота спектра, Гц;

$F_{90\%}$ - верхняя граничная частота спектра, Гц;

E_{5-20} - доля энергии (плотности потока энергии) сигнала в полосе частот 520 Гц, %;

E_{15-60} - доля энергии (плотности потока энергии) сигнала в полосе частот 1560 Гц, %;

E_{20-80} - доля энергии (плотности потока энергии) сигнала в полосе частот 2080 Гц, %;

E_{0-125} - доля энергии (плотности потока энергии) сигнала в полосе частот 0125 Гц, %.

Более подробно алгоритмы обработки акустических сигналов рассмотрены в работах [1, 2], и в целом они соответствуют рекомендованным в стандарте SEG [4]. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты обработки двух сигналов, зарегистрированных при одном и том же выходе в ближней (а) и дальней (б) зонах при срабатывании пневматического излучателя «ПУЛЬС-6» ($V_{01} = 3,0 \text{ дм}^3$, $P_{01} = 14 \text{ МПа}$, $h_s = 7 \text{ м}$).

Литература

- Гуленко В. И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки. Монография. Краснодар: КубГУ. 2003. 313 с.
- Гуленко В. И., Карпенко В. Д., Шлыков В. А. Теоретическое и экспериментальное исследование пневматических излучателей для морской сейсморазведки // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2002. №3. С. 50-58.
- Гуленко В. И., Бадиков Н. В. Акустические характеристики пневматических излучателей «Пульт-5» и различных вариантов линейных групп на их основе // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2001. №1. С. 23-32. 4. Johnston R.C., Reed D.H., Desler J.F. Special report on the SEG Technical Standards Committee: SEG Standard specifying marine seismic energy sources // Geophysics 1988. Vol. 53. № 4 p 566-575.