

Аппаратурно-техническое обеспечение морских геофизических исследований на НИС "Профессор Водяницкий"

© В. П. Коболев¹, П. А. Буртный¹, С. Ф. Михайлюк¹,
Н. И. Новик¹, С. В. Пинчук², С. С. Чулков¹, 2011

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²Компания "Polarcus DMCC", Дубай, ОАЭ

Поступила 25 февраля 2011 г.

Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым

Наведено основні технічні характеристики апробованих у 66-му рейсі НДС "Професор Водяницкий" модульних апаратурних морських геофізичних комплексів і результати їх технологічних випробувань у комплексі з багатоцільовим штатним палубним устаткуванням.

Principal specification of module instrumental marine geophysical complexes tested during the 66th voyage of RV "Professor Vodyanitskiy" and results of their technological tests in a complex with multipurpose standard deck equipment have been given.

Введение. Геофизическими исследованиями морей и океанов Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины занимается на протяжении нескольких десятков лет [Шнюков и др., 2006]. В последние годы морские геофизические наблюдения выполнялись на аппаратурных комплексах и оборудовании, возраст которых превышал четверть века. Естественно, что такой длительный срок эксплуатации привел их не только к физическому, но и к моральному старению. Поэтому возникла необходимость обновления аппаратурного парка и расширения диапазона методов исследований. Вторым существенным моментом стало требование получения результатов экспериментальных морских геофизических наблюдений в соответствующих форматах для их последующей обработки и интерпретации на современном программно-алгоритмическом уровне.

Как известно, приобретение новых образцов морской геофизической аппаратуры и оборудования требует значительных финансовых затрат. Такая возможность появилась в нача-

ле 2007 г., когда была утверждена первая целевая программа научных исследований НАН Украины "Программа комплексных биоресурсных, гидрофизических и геолого-геофизических исследований морской среды, перспективных нефтегазоносных структур и картирования распределения газогидратов в акватории Черного и Азовского морей на 2007—2009 гг.". В рамках выполнения этой Программы Институтом геофизики был разработан оптимальный комплекс морских геофизических методов для исследования субмаринных залежей газогидратов, который включает:

— сейсмическое профилирование как главный метод выявления амплитудных и скоростных аномалий, обусловленных структурными особенностями геологического разреза и газогидратомещающими породами;

— гравиметрические и магнитометрические наблюдения с целью картирования разломно-блоковой глубинной структуры дна акваторий;

— геотермические исследования температурного режима верхней части донных осад-

ков для расчета тепловых потоков и построения термобарических моделей формирования зон газогидратообразования;

— электромагнитное профилирование методом анализа спонтанного электромагнитного излучения (АСЭМИ) с целью картирования зон тектонически напряженного состояния.

Согласно разработанному комплексу методов, был выполнен аналитический обзор отечественных и зарубежных разработок в этой области. При этом рамки полученного финансирования были определяющими при выборе оптимальных, с точки зрения стоимости и технических возможностей, аппаратурных комплексов.

Для проведения морских геофизических исследований Институтом геофизики были приобретены образцы современной морской сейсмической, магнитометрической и геотермической аппаратуры и оборудования: телеметрическая сейсмическая система для морских работ XZone® Bottom Fish производства ООО "СИ Технолоджи Инструментс" (Геленджик, Россия), комплект пневмоисточников фирмы BOLT (США), морской протонный магнитометр-градиентометр MPMG-3 (ООО "ИМПЕДАНС", Троицк, Россия), морской геотермический комплекс "ГЕОС-М" (НПЦ "ПААС", Самара, Россия). Электрометрический комплекс "ASTROGON-M" был адаптирован к проведению работ с борта судна на основе договора о творческом научном сотрудничестве с его производителем — ООО "Юг-нефтегазгеология" (Киев, Украина). Также была выполнена модернизация имеющегося в Институте морского гравиметрического комплекса ГМН-К и разработано программно-алгоритмическое обеспечение обработки и интерпретации материалов гравиметрических и магнитометрических наблюдений [Старостенко и др., 2003].

Программой предусматривалось возобновление регулярных морских экспедиционных исследований на НИС "Профессор Водяницкий", которое после долгосрочной аренды было возвращено его судовладельцу — Институту биологии южных морей НАН Украины. Следует отметить, что возраст НИС "Профессор Водяницкий" (судно было спущено на воду в 1976 г. в Финляндии) и долгосрочная аренда самым пагубным образом отразились на его техническом состоянии. Судно нуждалось в капитальном ремонте, продолжительность которого ввиду финансовых трудностей совпала с выполнением вышеуказанной Программы. Поэтому возобновление научных рейсов стало

возможным лишь в 2010 г. уже в рамках новой целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины на 2010—2012 гг. "Комплексная оценка состояния и прогнозирования динамики морской среды и ресурсов Азово-Черноморского бассейна". Первые после ремонта 64-й и 65-й рейсы НИС "Профессор Водяницкий" были проведены соответственно Институтом биологии южных морей им. О.О. Ковалевского и Отделением морской геологии и осадочного рудообразования [Шнюков и др., 2010]. Опытные-методические работы по запуску и испытанию морских аппаратурных комплексов, отработке оптимальных методических приемов проведения комплексных геолого-геофизических работ на отдельных нефтегазоперспективных структурах в западной части Черного моря были проведены в 2010 г. с 31 августа по 14 сентября в 66-м рейсе НИС "Профессор Водяницкий" [Кобольев, 2011].

В настоящей статье приведены основные технические характеристики апробированных в 66-м рейсе НИС "Профессор Водяницкий" модульных аппаратурных морских геофизических комплексов и результаты их технологических испытаний в комплексе с многоцелевым штатным палубным оборудованием.

Размещение штатного палубного оборудования и модульных геофизических лабораторий на НИС "Профессор Водяницкий". Целевой комплексной программой НАН Украины предусмотрено разноплановое многоцелевое использование НИС "Профессор Водяницкий" для проведения гидроакустических, гидрофизических, гидрохимических, геолого-геофизических и экологических исследований на акваториях. Это обстоятельство предполагает модульный (мобильный) характер развертывания на борту судна аппаратурно-технических комплексов для выполнения различного рода тематических морских экспедиционных работ. В этой связи разработанный и адаптированный на НИС "Профессор Водяницкий" комплекс модульных геофизических лабораторий (сейсмической, геотермической, гравиметрической, магнитометрической и электрометрической) предполагает их мобильный характер развертывания для проведения исследований как в рамках Программы, так и планируемых хоздоговорных работ с производственными организациями.

Во время капитального ремонта было проведено переоборудование, установка и монтаж на борту судна штатного многоцелевого оборудования. На рис. 1 схематически пока-



Рис. 1. Расположение судовых силовых механизмов (Л1—Л5 — спускоподъемные лебедки) и модульных геофизических лабораторий на НИС "Профессор Водяницкий".

зано расположение основных судовых спускоподъемных и силовых механизмов, обеспечивающих функционирование модульных геофизических лабораторий. Для обеспечения системы возбуждения упругих колебаний сейсмического комплекса в машинном отделении судна был установлен стационарный электрокомпрессор ЭК-7.5. Ресивер, предназначенный для обеспечения непрерывной работы пневмоисточников постоянным давлением сжатого воздуха, размещен на шлюпочной палубе. Монтаж на борту судна сети трубопроводов сжатого воздуха был выполнен в соответствии с требованиями регламентирующих документов. Пневматический коллектор системы подачи сжатого воздуха оборудован по левому борту на корме судна.

Специфика комплексных геофизических работ состоит в проведении наблюдений с помо-

щью сенсорных приемников как стационарно установленных (гравиметрические и электрометрические) на судне, так и удаленных за борт. Последние в свою очередь делятся на буксируемые во время движения (магнитометрические и сейсмометрические) и зондирующие водную толщу и донные осадки при дрейфе судна на станциях (геотермические). Такой широкий спектр непрерывных и дискретных геофизических наблюдений потребовал отработки оптимального режима проведения различных видов работ с целью рационального использования палубных силовых механизмов и экономии судового времени.

Для размещения забортного оборудования с целью проведения сейсмических исследований была использована кормовая траловая лебедка (см. рис. 1), оборудованная двумя барабанами с независимым вращением. Последнее позволяло проводить отдельный спуск за борт сейсмической косы и буксировочного троса пневмоисточников с помощью кормового электрогидравлического П-образного портала.

Кормовой швартовый шпиль был задействован для спуска за борт магнитометрических гондол. Электрогидравлическая лебедка правого борта шлюпочной палубы (Л3) с кран-балкой и откидным мостиком использовалась для проведения забортных геотермических наблюдений на станциях.

Выносные штанги для крепления датчиков регистрации электромагнитного поля были попарно с двух бортов установлены на шлюпочной палубе.

Блоки управления аппаратурными геофизическими комплексами располагались в отдельных лабораторных помещениях судна.

Аппаратурные комплексы для проведения морских геофизических наблюдений. Сейсморазведочный комплекс состоит из двух взаимосвязанных систем — регистрации и возбуждения упругих колебаний.

В качестве системы регистрации использовалась цифровая сейсморазведочная телеметрическая система XZone® Bottom Fish, предназначенная для проведения 2D и 3D сейсмического профилирования на акваториях при глубине моря свыше 20 м. Конструктивно система состоит из бортовой и забортной части. В состав бортовой части системы входит центральная станция регистрации (ЦСР) со всей необходимой периферией, а также палубное оборудование: соединительные кабели и переходные модули. Забортная часть представляет собой телеметрическую сейсмическую косу.

ЦСР предназначена для сбора информации от приемных модулей косы, визуализации сейсмограмм, архивирования данных, контроля качества полученного материала и диагностирования всей системы. Она выполнена в виде стойки со встроенными в нее серверами, системой электропитания и подключенными периферийными устройствами (рис. 2). Питание ЦСР осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. Контроль величин тока и напряжения в косе производит блок управления, данные выводятся на экран монитора ЦСР.

ЦСР способна обрабатывать до 7200 каналов с поддержкой нескольких кос, что существенно увеличивает производительность сейсморазведочных работ. Для повышения качества обработки полученного материала используется удобный пользовательский интерфейс, позволяющий задавать частоты среза и режекции, выбирать форму фильтров и глубину подавления шумов. Программное обеспечение позволяет управлять станцией одному оператору. Интегрированная в состав ЦСР система контроля качества дает возможность уже на ранней стадии обнаружить некачественные сейсмограммы. Автоматический вывод "журнала событий" облегчает труд оператора и позволяет восстановить точную картину условий проведения полевых работ.

Оператор с помощью ЦСР может производить настройку системы на различные режимы работы, выбирать длительность записи и период дискретизации, настраивать количество регистрируемых и служебных каналов, определять параметры фильтров, прово-



Рис. 2. Центральная станция регистрации (ЦСР).

дить процедуры калибровки и диагностики секций косы. В процессе регистрации оператор контролирует состояние телеметрической косы и качество получаемых сейсмограмм. Они могут быть выведены на экран монитора, распечатаны на принтере и записаны на внешний носитель в выбранном формате. Для записи на внешний носитель система поддерживает следующие геофизические форматы: SEG-D 8048, SEG-D 8058. По результатам работы оператор может сформировать полный комплект отчетных документов.

Подключение заборного оборудования к ЦСР осуществляется через палубный кабель, по которому передаются данные регистрируемых (рабочих) каналов и осуществляется электропитание косы. Внешняя оболочка кабеля из полиуретана защищает электрические провода от повреждения и попадания влаги. Разъемы кабеля герметичны и изготовлены из материалов, устойчивых к воздействию соленой воды.

Телеметрическая сейсмическая коса включает грузовую, упругую и приборную секции. Основное назначение грузовой (лидер) секции — углубление на требуемую глубину и удаление активных секций косы от пневмоизлучателя и кормы судна, а также передача электрических сигналов с заборного оборудования на ЦСР и обратно. Прочный кабель-трос грузовой секции способен выдержать большие силовые нагрузки при буксировке заборного оборудования. Двойная броня защищает провода секции от износа и повреждений. Гальванизированные стальные провода брони скручены в противоположных направлениях, чтобы балансировать вращение кабель-троса. Разъемы секции герметичны и изготовлены из материалов, устойчивых к воздействию соленой воды.

Упругая хвостовая амортизационная секция предназначена для демпфирования колебаний системы в продольной плоскости и предотвращения распространения шумов судна к приборным секциям. Через упругую секцию осуществляется прием и передача телеметрических данных от ЦСР к активной секции и обратно, а также сигналов системы управления глубиной погружения косы и позиционирования. Сигналы первого вступления с датчиков давления передаются на электронный модуль, который обеспечивает их предварительное усиление, аналого-цифровую обработку и передачу по телеметрической линии на ЦСР. Силовые нагрузки секции пере-

даются через два полиамидных троса, способных выдержать натяжение косы.

К упругой секции подключена приборная (активная) секция телеметрической косы (рис. 3). Оболочка упругих и приборных секций системы изготовлена из полиуретана, обладающего необходимой прочностью и не допускающего разрыва секций при допустимых нагрузках. Секции косы соединяются между собой специальными муфтами, изготовленными из титана. Для заполнения секций наполнителем в конструкции муфты предусмотрен специальный клапан. В качестве наполнителя секций используется жидкость (парафин марки Isopar). В целях экологической безопасности приборные секции разделены на герметичные отсеки специальными устройствами — блокираторами, что предотвращает утечку наполнителя в море из отсеков, соседних с аварийными. Каждая приборная секция имеет свой уникальный серийный номер, который может быть определен ЦСР. Это позволяет постоянно контролировать состояние и работоспособность секций в процессе проведения работ.

Используемые в составе приборной секции гидрофоны с чувствительностью 28 В/бар способны принимать отражения от горизонтов, находящихся на значительных глубинах. Группирование датчиков ослабляет воздействие помех и повышает надежность приборной секции. Гидрофоны имеют высокую чувствительность и позволяют работать на глубине до 80 м. Датчики размещены группами по восемь штук через каждые 6,25 м. Сигналы от каждой группы гидрофонов поступают во встроенный в приборную секцию электронный модуль, который обеспечивает их предварительное усиление, аналого-цифровое преобразование, предварительную цифровую обработку и передачу по телеметрической линии на ЦСР.

Применяемый аналого-цифровой преобразователь (АЦП) построен на базе 24-разрядного дельта-сигма микропроцессора, обеспечивающего низкий уровень шумов и широкий динамический диапазон регистрации сигналов. В состав приборной секции включены сквозные линии и две катушки связи с системами позиционирования, работающие на частоте 26—28 кГц с модуляцией FSK 2400 бит/с.

В состав палубного оборудования входит ретранслятор сигналов, который предназначен для восстановления сигналов, передаваемых по телеметрическим линиям. Соединительная муфта кабеля выполнена из нержавеющей стали и герметично соединяется с токосъемником,

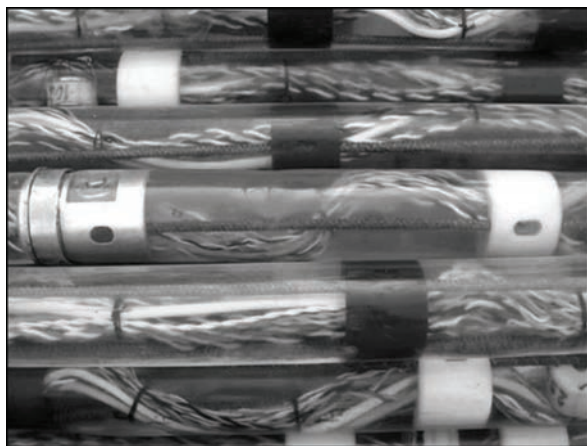


Рис. 3. Фрагмент приборной секции.

находящемся на спускоподъемном устройстве. Через токосъемник обеспечивается непрерывная электрическая связь между ЦСР и забортным оборудованием.

Основным узлом системы возбуждения и синхронизации сейсмических волн в различных частотных диапазонах является пневматическая пушка (рис. 4) — источник упругих колебаний в водной среде. Модификации пневмопушек могут излучать сейсмические волны различной интенсивности. При проведении работ в 66-м рейсе НИС "Профессор Водяницкий" были испытаны четыре пневмопушки емкостью 50 и 90 дюймов³. Эффективность применения пневматических источников определяется производительностью воздушного компрессора и объемом ресивера, обеспечивающего непрерывную подачу на пневмопушку

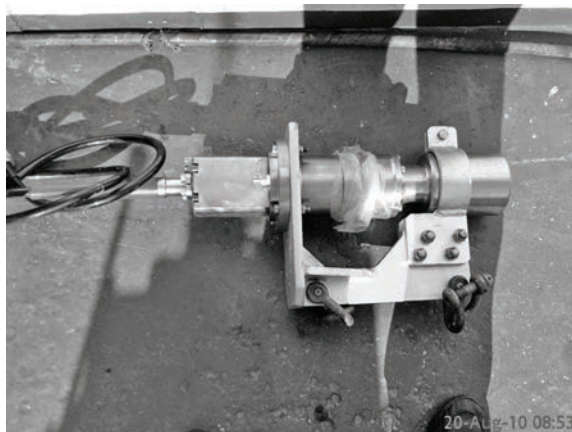


Рис. 4. Пневматическая пушка (объем рабочей камеры 50 дюйм³).

необходимого количество сжатого воздуха. Последнее зависит от объема рабочей камеры источника и методики работ (интервал срабатывания пневмопушки). Контроллер источника обеспечивает электропитание и управление пневматической пушкой и внешний запуск центральной станции.

Модернизированный гравиметрический комплекс ГМН-К (ИГФ) состоит из трех идентичных гравиметров ГМН-К, в основу работы которых положен компенсационный метод измерения [Железняк, 2002]. Модернизация гравиметрического комплекса заключалась в преобразовании аналоговых сигналов гравиметров с помощью прецизионных потенциометров в цифровую форму и модернизации системы управления электродвигателем. На рис. 5 представлена блок-схема прибора.

Луч света лампы типа Сц-75 (7), сфокусированный оптическим устройством (12), состоящим из конденсора, узкой щели и объектива, направляется на зеркало, закрепленное на маятнике кварцевой системы. Отразившись от зеркала, световой блик в виде узкой (2 мм) полоски попадает на рабочую поверхность дифференциального фоторезистора (ДФР) (13).

Когда маятник чувствительной системы находится в горизонтальном положении, обе части фоторезистора ФСК-Г-7А освещены одинаково и электрический сигнал на выходе моста постоянного тока отсутствует. При отклонении маятника от "нулевого" положения под действием ускорения силы тяжести световой блик перемещается по поверхности ДФР и в динамическом режиме того или иного знака. Пройдя через сглаживающий фильтр (15) и усилитель (16), этот сигнал приводит к срабатыванию реле (17). Через контакты реле поступа-

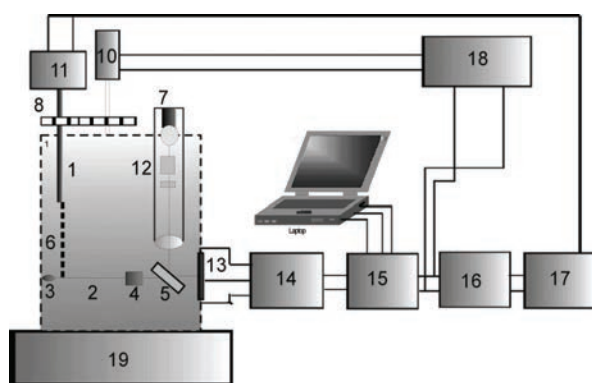


Рис. 5. Блок-схема морского гравиметра ГМН-К (ИГФ).

ет питание на исполнительный двигатель (10). Вращаясь, двигатель ДГМ20, связанный через редуктор (9) с измерительным микровинтом (8) и далее через компенсационную пружину (6) с маятником кварцевой системы, возвращает маятник (2) в исходное состояние. На оси измерительного винта установлен современный многооборотный прецизионный потенциометр (11), осуществляющий преобразование угла поворота микровинта в сопротивление. Следовательно, линейное перемещение штока измерительного винта превращается в его электрический аналог — напряжение постоянного тока, которое подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) Е14-140, связанный через USB-порт с микрокомпьютером.

Вся информация о параметрах работы из соответствующих датчиков поступает на АЦП и далее на компьютер, где сохраняется на жестком диске в виде таблицы в txt- и dbf-форматах.

Измерительно-вычислительный комплекс для дифференциальных гидромагнитных исследований — морской буксируемый протонный магнитометр-градиентометр МРМГ-03 "ИМПЕДАНС", является опытным образцом, предназначенным для автоматического измерения модуля вектора магнитной индукции Земли в двух разнесенных в пространстве точках и градиента между ними в условиях морской магнитной съемки [Любимов, 2001].

Конструктивно комплекс включает в себя забортную и набортную части, соединенные между собой кабелем-буксиром. Забортная часть прибора представляет собой два буксировочных кабеля и две погружные гондолы (рис. 6), которые буксируются на расстоянии не менее трех длин корпуса судна от его кормы.

Кабель-буксир позволяет удалить магниточувствительные датчики от судна на расстояние, обеспечивающее его минимальное влияние на результаты измерения магнитного поля. С его помощью подводится электропитание к забортной части прибора, осуществляется управление режимом работы и передача цифровой информации из буксированных гондол в компьютер. Длина кабеля-буксира (типа КГ4 × 1,0МЛ-Э-10у), соединяющего ближнюю из гондол с кормой судна (БК1), равна 150 м, а между гондолами (измерительная база градиентометра) — 100 м (БК2). Разрывное усилие кабеля составляет 600 кг.

Протонный магнитометр построен по принципу измерения периода прецессии ядер протонсодержащего рабочего вещества, поляри-

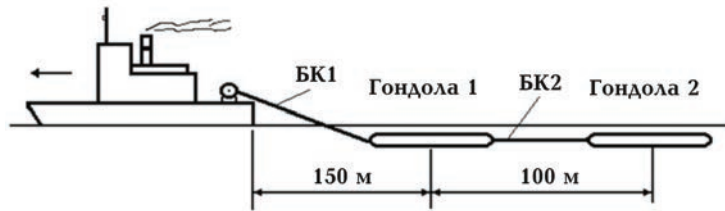


Рис. 6. Забортная часть магнитометра-градиентометра МРМГ-03 "IMPEDANCE" и схема буксирования гондол.

зованных постоянным подмагничивающим полем, направление которого ортогонально вектору измеряемого поля. Подмагничивающее постоянное поле включается только на время поляризации. В качестве рабочего вещества используется углеводородное соединение — гептан (C_7H_{16}), который имеет времена продольной и поперечной релаксации соответственно 2,1 и 1,2 с. Измерительная часть протонного магнитометра построена по принципу измерения числа периодов частоты сигнала свободной прецессии поляризованных постоянным подмагничивающим полем ядер гептана. Полученное число зафиксированных за этот временной интервал импульсов частоты опорного кварцевого генератора микропроцессор переводит в значения магнитной индукции в нанотеслах.

Программное обеспечение комплекса реализует возможность измерения и записи в оперативное запоминающее устройство длительности последовательно идущих периодов сигналов прецессии от двух разнесенных в пространстве датчиков протонных магнитометров. При этом в каждой из буксируемых гондол, на основе измеренных периодов частоты, формируются цифровые значения поля — единичные измерения. Последние суммируются микроконтроллером в ближней из буксируемых гондол, преобразуются в последовательный код и передаются с помощью стандартного интерфейса RS-485 в наборную часть комплекса, в которую входят блок питания (БП) и персональный компьютер (ПК).

Геотермический телеметрический аппаратурный комплекс "ГЕОС-М" предназначен для дискретных определений глубинного теплового потока через дно акваторий и обеспечивает измерение *in situ* температур, термоградиентов, теплопроводности донных осадков, придонной температуры воды, гидростатического давления (глубины) и угла внедрения погружаемой части зонда в донные осадки.

Измерительный комплекс "ГЕОС-М" состоит из погружаемой части и бортового блока, соединенных между собой трехжильным кабель-тросом (рис. 7). Конструктивно погружаемая часть представляет собой глубоководный контейнер для размещения электронного блока. К контейнеру прикреплены два комплекта температурных датчиков (косы): термоградиентов и теплопроводностей. Обе косы идентичны по конструкции и взаимозаменяемы. Каждая содержит распределенный по длине нагреватель, пять температурных сенсоров (через 0,5 м) и микроконвертор, осуществляющий поочередный опрос температурных сенсоров и преобразование их сопротивлений в цифровые коды.

В контейнере зонда находятся датчики гидростатического давления, температуры придонного слоя воды, угла внедрения зонда, микроконвертор и микропроцессор, обеспечивающий передачу всех цифровых данных по кабелю в бортовой блок.

Бортовой блок обеспечивает передачу измерительной информации в персональный ком-

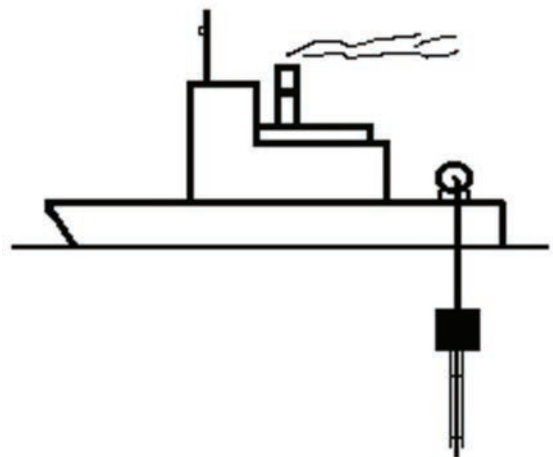


Рис. 7. Принципиальная схема геотермических измерений телеметрическим комплексом "Геос-ТМ2".

пьютер и электрическое питание зонда. Кроме того, в бортовом блоке индицируется наличие передачи измерительной информации, а также возникновение отказов в линии передачи (обрыв, короткое замыкание).

Процесс измерения геотермических параметров и обработка результатов полностью автоматизированы и выполняются по заданной программе. Используемый при этом тестовый метод обеспечивает высокую точность измерений и долговременную стабильность метрологических характеристик системы.

Программа системы предусматривает два режима измерений. В первом, в процессе спуска и подъема зонда, производится опрос всех датчиков температуры и теплопроводности, что позволяет получать температуру базового (нижнего) датчика и датчиков теплопроводности, разность температур на измерительных базах датчиков термоградиентов и угол наклона зонда. Этот режим обеспечивает зондирование водной толщи, фиксацию момента внедрения зонда в осадки. Во втором режиме происходит комплексное измерение геотермических параметров в осадках. В течение 6 мин проводится серия из 90 тактов измерений с интервалом 2—4 с, что позволяет снять кривую переходного процесса датчиков температуры и кривую нагрева датчиков теплопроводности. Компьютер аппроксимирует последние 60 точек кривой нагрева логарифмической зависимостью методом наименьших квадратов, вычисляет интегральные значения теплопроводности и затем значения теплового потока на каждой из измерительных баз.

Преимущество системы "ГЕОС-М" состоит в том, что она позволяет измерять полный комплекс геотермических параметров на четырех измерительных базах, получать информацию о вертикальной дифференциации теплопроводности и термоградиентов в придонном слое осадков и, таким образом, судить о характере региональных и локальных нарушений теплового режима.

Другим принципиально новым и важным преимуществом системы "ГЕОС-М" является возможность оперативного контроля и управления процессом измерения. Она позволяет четко фиксировать момент и угол вхождения зонда в осадки и его извлечения, следить за процессом становления теплового равновесия между зондом и осадками. Оперативное получение такой информации дает возможность рационально использовать судовое время за бортовых работ путем своевременного изме-

нения режима работы лебедки, а также выполнять повторные внедрения зонда в осадки на отдельных станциях.

Электромагнитный комплекс "ASTROGON-M" является приборной основой метода АСЭМИ. В его состав входят: пульт управления, регистратор, приемник GPS, интерфейсный адаптер и компьютер. Параллельно с двух бортов судна на выносных штангах закреплены четыре надводных датчика (рис. 8). В качестве датчика (первичного преобразователя) используется выносная анизотропная антенна, состоящая из трех взаимно перпендикулярных катушек индуктивности [Патент ..., 2004]. Благодаря использованию современной элементной базы и цифровой обработки сигналов удалось достичь высокой точности ($\pm 5\%$) и большого динамического диапазона (0,05—20 нТл) измерений параметров магнитного поля в диапазоне частот от 1 до 100 кГц (по уровню 3 дБ). В приборе развиты дополнительные функции: цифровая фильтрация сигнала, сохранение данных измерений в оперативном запоминающем устройстве, реализован первичный этап обработки результатов и обеспечены возможности управления с помощью компьютера, в частности, возможность автоматического мониторинга уровней порога регистрируемого магнитного поля.

Приемник является пороговым 12-канальным регистратором активности электромагнитного поля. Измеряемым параметром является число импульсов электромагнитного излучения, поступающих на приемник за время экспозиции. Регистрация производится в не-

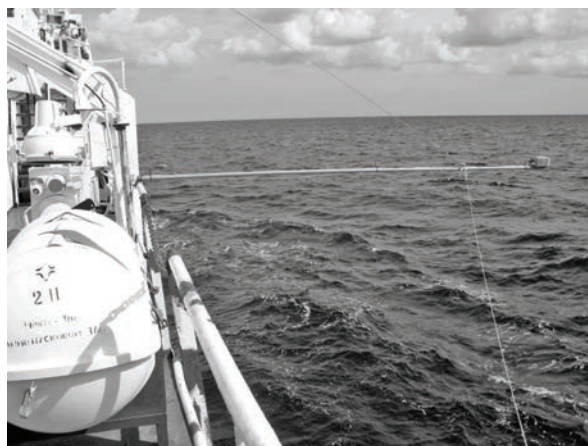


Рис. 8. Надводный датчик электромагнитного комплекса "ASTROGON-M", закрепленный на выносной штанге с правого борта судна.



Рис. 9. Методическая схема размещения забортного оборудования сейсмического комплекса.

прерывном режиме. Результаты регистрации записываются в запоминающее устройство.

Время экспозиции выбирается из дискретного набора значений: $0,1 \pm 0,005$ с; $0,5 \pm 0,02$ с; $1,0 \pm 0,05$ с; $10,0 \pm 0,5$ с. Число импульсов, отображаемое на экране индикатора: от 0 до 99 999. Полоса частот Δf регистрируемых импульсов, измеренная с антенного входа, находится в пределах 500 Гц — 100 КГц.

Результаты отработки методических приемов выполнения морских геофизических наблюдений. Запуск в работу новых морских комплексов и отработка методических приемов проведения разных видов геофизических работ были осуществлены непосредственно перед выходом и во время выполнения запланированных наблюдений в 66-м рейсе НИС "Профессор Водяницкий". Остановимся на основных моментах отработки методических приемов выполнения комплексных морских геофизических наблюдений.

В процессе технологических испытаний сейсмического комплекса был выявлен ряд помех, источником которых были силовые линии электропитания судовых лабораторий. С учетом технических сложностей, которые возникли во время проведения опытно-методических работ, была разработана методика и схема размещения забортного оборудования сейсмического телеметрического комплекса с целью оптимизации условий возбуждения и качественной регистрации сейсмических волн (рис. 9).

Непосредственные сейсмические наблюдения выполнялись 24-канальной косой с первым приемником, размещенным на расстоянии 66,5 м от источника. Расстояние между соседними датчиками составляло 3 м, скорость движения судна — 4 узла, частота срабатывания пневмопушек — 12,5 м с периодом квантования 0,5 мс.

На рис. 10 приведен пример качества одноканальной записи, полученного согласно вышеупомянутой методической схеме.

Во время первого спуска за борт гондол магнитометра-градиентометра МПМГ-03 с целью отладки рабочих параметров было выявлено несоответствие регистрируемого уровня магнитного поля нормальным значениям. Набортное тестирование комплекса показало нормальную работу прибора. После продолжительных технических испытаний были обнаружены в судовой сети заземления помехи, которые достигали 30 В. Таким образом, была установлена невозможность работы МПМГ-03 в полноценном режиме до устранения выявленного разбалансирования системы электропитания и заземления.

Запуск в эксплуатацию модернизированного гравиметрического комплекса включал в себя набортные опорные измерения тремя циклами у пирса № 59 и одним циклом у причала № 122. После выхода из порта г. Севастополь гравиметрические наблюдения проводились бесперерывно.

После выполнения подготовительных сборочных работ комплекса "ГЕОС-М" было испытано качество соединения зонда с блоком управления через трос-кабель и выполнена калибровка датчиков. Результативные геотер-

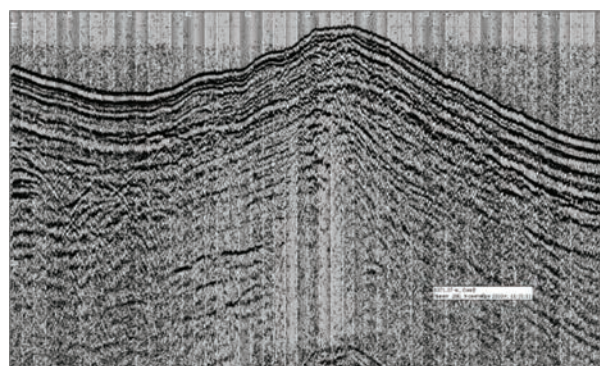


Рис. 10. Пример одноканальной сейсмической записи.

мические исследования проведены на трех станциях на континентальном склоне западной части Черного моря.

Анализ результатов наблюдений позволяет сделать вывод, что канал измерения температуры работает удовлетворительно. Расхождение в определении температуры разными датчиками не превышает тысячных долей градуса. На изменения температуры все датчики реагируют синхронно. Теплопроводность осадков составляет 0,88—0,82 Вт/(г · К). Эти данные согласуются с результатами предыдущих определений в этом регионе *in situ* и в лабораторных условиях.

Электромагнитные наблюдения методом АСЭМИ выполнялись практически по всему маршруту судна, за исключением штормовых галсов. На одном из них, при движении судна лагом при 4-бальном волнении моря, бортовая качка привела к погружению одного из датчиков-приемников правого борта в воду и его выхода из строя. Ремонт и герметизация

электронного модуля приемника были оперативно выполнены во время штормового отстоя судна.

Выводы. 1. На НИС "Профессор Водяницкий" в 66-м рейсе установлен и апробирован современный морской геофизический аппаратно-методический комплекс, предназначенный для изучения геологического строения и поиска углеводородов на акваториях.

2. Разработаны и испытаны методические приемы проведения работ цифровой сейсморазведочной телеметрической системой XZone VOTTON FISH при различных параметрах возбуждения и регистрации сейсмических волн.

3. Смонтированы и протестированы гравиметрический комплекс ГМН-К (ИГФ), магнитометр-градиентометр МРМГ-03, электромагнитный комплекс "ASTROGON-М" и геотермическая телеметрическая система "ГЕОС-М" и определены шаги по их дальнейшей модернизации и улучшению работы с учетом специфических особенностей судна.

Список литературы

- Железняк Л. К. Российские морские гравиметрические комплексы // Применение гравиметрических технологий в геофизике. — Санкт-Петербург: ГНЦ РФ, ЦНИИ "Электроприбор", 2002. — С. 35—50.
- Коболев В. П. Дослідно-методична комплексна геолого-геофізична експедиція 66-го рейсу НДС "Професор Водяницький" в західній частині Чорного моря // Геолог України. — 2011. — № 1. — С. 40—62.
- Любимов В. В. Новые приборы для измерения градиента источников магнитного поля в различных средах. — Москва, 2001. — 10 с. — (Препр. / ИЗМИРАН; № 3 (1142)).
- Патент України. Пристрій для реєстрації природного електромагнітного поля Землі // Г. В. Альошин, Ю. О. Богданов. — № 70417/G01V3008; Опубл. 15.10.2004.
- Старостенко В. И., Коболев В. П., Корчагин И. Н., Гросс С. С., Соловьев В. Д., Михайлюк С. Ф., Якимчук Ю. Н. Новые технологии при проведении гидромагнитных исследований в морских акваториях: методика измерений, алгоритмы обработки, практические результаты. // Геофиз. журн. — 2003. — 25, № 2. — С. 70—89.
- Шнюков Е. Ф., Емельянов В. А., Кузнецов А. С., Куковская Т. С., Щипцов А. А. Геолого-геохимические исследования в 65-м рейсе НИС "Профессор Водяницкий" в Черном море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2010. — № 4. — С. 94—98.
- Шнюков Е. Ф., Старостенко В. И., Коболев В. П. Морские геолого-геофизические исследования на Украине: реальность и перспективы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2006. — № 2. — С. 18—29.