

УДК 551.46.07:550.34.044:553.98(26-83)

Левченко Д.Г.ФГУП Опытнo-Конструкторское Бюро Океанологической Техники РАН, Москва, Россия, okb@edboe.ru, levch35@mail.ru

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОКЕАНИЧЕСКОЙ СРЕДЫ АВТОМАТИЧЕСКИМИ МНОГОЦЕЛЕВЫМИ ДОННЫМИ СТАНЦИЯМИ

Увеличение морской добычи углеводородного сырья выдвигает на первое место проблемы безопасности и мониторинга морских месторождений углеводородов, особенно в свете последних событий в Мексиканском заливе. Поэтому разработка новых методов и оборудования для подводных исследований имеет сейчас огромное значение. При этом автоматические донные многоцелевые станции являются идеальным средством мониторинга подводной обстановки в районах добычи углеводородов, поскольку позволяют в режиме он-лайн отслеживать множество параметров морской среды одновременно.

Основными задачами при разработке подводных автономных донных станций являются: выбор методов и средств измерения требуемых параметров, выбор способов сбора и хранения данных, привязка результатов измерений к абсолютному времени, обеспечение заданной надежности связи для передачи данных и команд управления, обеспечение заданной длительности автономной работы на дне.

Ключевые слова: *добыча углеводородов, подводные измерения, донный сейсмограф, нефтегазовые комплексы, предвестники землетрясений, измерители скорости и направления течения, сильные движения поверхности земли, акустические и сейсмические сигналы, блок измерения гидрофизических параметров, феррозондовый магнетометр.*

Увеличение морской добычи углеводородного сырья выдвигает на первое место проблемы безопасности и мониторинга морских месторождений углеводородов, особенно в свете последних событий в Мексиканском заливе. Поэтому разработка новых методов и оборудования для подводных исследований имеет сейчас огромное значение. При этом автоматические донные многоцелевые станции являются идеальным средством мониторинга подводной обстановки в районах добычи углеводородов, поскольку позволяют в режиме он-лайн отслеживать множество параметров морской среды одновременно.

Геодинамическая безопасность шельфовых нефтегазовых разработок должна рассматриваться, прежде всего, с учетом геомеханических процессов эволюции геологической среды соответствующих природно-технических систем. Непрогнозируемое и, соответственно, неуправляемое развитие геомеханических процессов может привести к формированию условий возникновения чрезвычайных ситуаций и реализации разрушающих (аварийных) геодинамических явлений, и, как следствие, выбросам углеводородов в окружающую среду и крупномасштабным ее загрязнением, а также к потерям и недоиспользованию запасов сырья. Опасные природные и техногенные геодинамические

проявления могут также привести к чрезвычайным ситуациям и авариям добычных комплексов, сопряженных с геологической средой (повреждения донных комплексов: потеря устойчивости, крен, неравномерная просадка, потеря связи (сцепления) с породным основанием, фундаментом и т.п.; деформирование и нарушение сплошности систем сбора скважинной продукции, повреждения и разрывы промысловых трубопроводов; смятие (сдвиг) срез обсадных колонн/скважин и др.)

Основными задачами при разработке подводных автономных станций являются: выбор методов и средств измерения требуемых параметров, выбор способов сбора и хранения данных, привязка результатов измерений к абсолютному времени, обеспечение заданной надежности связи для передачи данных и команд управления, обеспечение заданной длительности автономной работы на дне.

В настоящее время имеется значительное количество методов и средств для измерения геофизических и гидрохимических параметров в водной среде. Однако далеко не все из них могут быть использованы в донных станциях. Основные трудности состоят в высоком давлении, что требует существенной механической прочности датчиков при сохранении других их качеств, в определенной агрессивности морской воды при ее длительном воздействии на чувствительные элементы, в соприкосновении с биологически активной средой, что вызывает покрытие датчиков различными пленками, обрастание ракушечным материалом и др. Существенное влияние на работу станции могут оказывать подводные течения, которые раскачивают корпус, вызывают завихрения вокруг выступающих частей, искажая показания приборов [Гаврилов и др., 2000; Лобковский и др., 2005; Башилов и др., 2008; Левченко и др., 2009].

Применяемые для подводных измерений методы и средства можно разделить в первом приближении на контактные и бесконтактные, точечные и интегральные, местные и дистанционные. Такое деление в значительной степени условно, но оно позволяет точнее определить возможности отдельных методов и средств. Не давая определений этим классам, понятным в общем из названий, приведем некоторые примеры. Измерение электрической проводимости воды может выполняться контактным методом с помощью электродов и индукционным методом по реакции водной среды на переменное электромагнитное поле. Температура может измеряться в «точке» термпарой или в среднем по скорости распространения звука между разнесенными акустическими антеннами. Скорость течений с помощью различных вертушек измеряется локально, а с помощью акустических сигналов — дистанционно [Beranzoli et al., 1997; Delaney, 2001; Лобковский и др., 2005].

Измерители скорости и направления течений в акваториях в настоящее время выполняются только с цифровым выходом. Обычно такие приборы применяются в комбинации с измерителями других параметров морской воды (температуры, солености, давления и др.). Комплект измерителей может набираться по специальному заказу или быть определен заранее, например, стандартный STD-зонд: измеритель солености (электропроводности), температуры, давления. Некоторые фирмы выпускают отдельно датчики скорости и направления течений, которые могут встраиваться в комплексные измерительные устройства - донные станции. Измерители течений могут использоваться как автономные приборы с собственным источником питания, стабильными часами и накопителем информации или работать в режиме реального времени с передачей данных по кабелю или спутниковому каналу связи. В любом случае эти приборы имеют внутренний программируемый процессор и цифровой выход для подключения к внешнему компьютеру. Внутренний процессор управляет режимами работы измерителей, производит первичную обработку данных, осуществляет привязку измерений к абсолютному времени, вводит необходимые поправки и др. В состав измерителей направления течений входит электронный компас для определения азимута прибора. В некоторых измерителях течений имеются наклонометры, поскольку их показания зависят от угла наклона прибора [Dziewonski, 2001; Schultz et al., 2001; Favali, 2003].

Другими, обычно измеряемыми, параметрами водной среды являются: скорость звука в воде, электропроводность, температура, концентрация водородных ионов pH, давление, прозрачность воды. Для экологического мониторинга большое значение имеют параметры, связанные с жизнью морских организмов: концентрации кислорода, углекислого газа, кальция, фосфора и других элементов, освещенность, плотность биомассы, различные антропогенные факторы.

Для измерения оптических характеристик воды используются различные приборы: калориметры, измерители прозрачности, спектрофотометры и др. Эти приборы основаны на разных физических принципах работы (избирательном поглощении, люминесценции, применении специальных реагентов), но их общей чертой является наличие источника излучения, емкости для образца исследуемой жидкости и оптического анализатора. В некоторых приборах определяются интегральные характеристики, в других измеряются спектральные составляющие. Источники излучения применяются как широкополосные (лампы накаливания), так и когерентные (лазеры). В качестве анализаторов используются фотоумножители, фотодиоды, дифракционные решетки с фотодиодной матрицей,

акустооптические анализаторы и др. [Dziewonski, 2001; Лобковский и др., 2005].

Важным элементом донных станций являются сейсмометрические каналы. Следует отметить, что регистрация сейсмических сигналов на дне акваторий существенно отличается от наземной. Основные отличия состоят во влиянии водного и обводненного слоёв осадков на распространение сейсмических сигналов, способах взаимодействия корпуса прибора с мягким дном, возбуждении сильных помех придонными течениями. Поэтому необходимо применять специальные методы и конструкции для учета этих особенностей и уменьшения помех.

Донные сейсмографы по своим метрологическим параметрам должны приближаться к наземным. Это необходимо для создания единой сейсмологической сети. Сейсмографы должны регистрировать три компонента сейсмического поля в достаточно широком частотном диапазоне (примерно 0,03 — 20 Гц). При этом объем получаемой сейсмологической информации обычно превышает объем информации от всех остальных датчиков станции, что создает определенные сложности при регистрации и передаче данных по каналам связи. В связи с этим донные сейсмографы часто выполняют как самостоятельные устройства с собственными носителями и каналами связи [Delaney, 2001; Левченко и др., 2009].

В качестве примера ниже приведены основные измерительные модули, использованные в многоцелевой донной станции ОКБ океанологической техники РАН, разработанной в 2007-2008 гг. по Договору с Министерством науки и образования РФ.

Донный сейсмограф

Регистрация сейсмических сигналов на дне акватории обеспечивается донными многокомпонентными сейсмоприемниками, подключенными к блоку цифровой регистрации данных. В составе блока регистрации имеются генератор точного времени и система привязки данных к Единому времени.

Большой частотный и динамический диапазоны сейсмических сигналов обуславливает сложность реализации системы сейсмической регистрации. В состав станции входят три группы измерительных сейсмических каналов на основе трех типов сейсмоприемников:

- широкополосный велосиметр с частотным диапазоном 0,03 – 40 Гц;
- сейсмоприемник сильных движений (акселерометр) с частотным диапазоном 0,6 – 50 Гц;
- сейсмоакустический датчик (акселерометр) с частотным диапазоном 20 – 1000 Гц.

Указанные три типа сейсмических каналов перекрывают практически весь частотный

диапазон сейсмических сигналов, регистрируемых на дне акватории, для решения широкого круга научных и прикладных задач.

Широкополосные трехкомпонентные измерительные сейсмические каналы на основе велосиметров обеспечивают регистрацию сейсмических сигналов в полосе частот 0,03 – 40 Гц при динамическом диапазоне регистрации до 120 дБ.

Сейсмические каналы на основе акселерометров предназначены, в первую очередь, для решения задач, связанных с изучением сильных движений поверхности Земли. Максимальное регистрируемое ими ускорение составляет 1g, а при жёсткой фиксации приборов на месте установки оно может достигать 1,3g. Динамический диапазон таких приборов составляет более 150 дБ, поэтому они могут регистрировать сигналы и от довольно слабых источников в эпицентральной и региональной зонах.

Высокочастотные акустические и сейсмические сигналы, измеряемые сейсмоакустическим датчиком, позволяют судить о напряженном состоянии донного массива и часто являются предвестниками сильных землетрясений. На рис. 1 представлен внешний вид сейсмоприемника-велосиметра электрохимического типа СМЕ-3111 разработки Центра молекулярной электроники МФТИ. На рис. 2 приведен внешний вид акселерометра сильных движений ES-T фирмы Kinometrics (США).

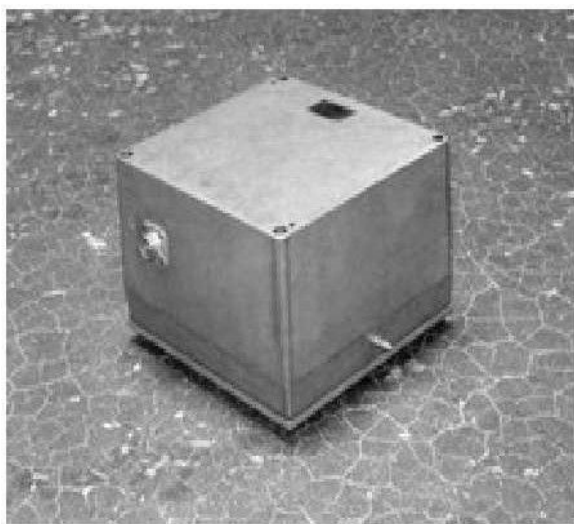


Рис. 1. Внешний вид сейсмоприемника-велосиметра СМЕ-3111 электрохимического типа



Рис. 2. Внешний вид акселерометра сильных движений ES-T фирмы Kinometrics (США)

Блок измерения гидрофизических параметров

Блок гидрофизических параметров (ГФП) предназначен для измерения температуры, давления, электропроводности воды и вектора скорости течения. Фактически ГФП состоит из двух частей - акустического трехкомпонентного измерителя течений типа ЗАСМ-СВР-S и

измерителя указанных параметров воды на основе прибора CTS-C-1ED фирмы FSI (США). При измерении скорости течений учитывается также наклон датчиков. Основные параметры ЗАСМ-СВР-S приведены в табл. 1.

Датчик электропроводности и температуры CTS-C-1ED основан на принципе индуктивных измерений. Индуктивные датчики обеспечивают высокую устойчивость, в отличие от датчиков, основанных на открытых электродах, при изменении их геометрии, которая вызывается биообрастанием. Большой внутренний диаметр датчика устраняет необходимость в насосе или других искусственных средствах для протока воды.

Таблица 1

Основные параметры ЗАСМ-СВР-S

Параметр	Тип	Диапазон	Точность	Разрешение
Скорость	акустический	0 ÷ 300 см/сек	± 2%	0.01
Направление	3-х компонент.	0 ÷ 360°	± 2°	0.01°
Вертикаль	две оси	0 ÷ 45 °	± 0.5	0.01°
Температура	платиновый датчик	- 2 ÷ 35 ° С	± 0.01° С	0.001° С
Давление	пьезоэлемент	определяется пользователем	± 0.15 % от шкалы	0.02 %
Питание 70 мВт		7 – 40 В, 10 мА		

Использование высококачественного платинового термометра сопротивления приводит к точным и стабильным измерениям температуры. Электронный сигнал строго линейен, что устраняет необходимость последующих расчетов. Основные параметры прибора CTS-C-1ED приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры прибора CTS-C-1ED

Датчик	Электропроводности	Температуры
Параметр		
Диапазон	от 0 до 70 mS/cm	от -2° до 35°С
Точность	±0.010 mS/cm	±0.050°С
Стабильность	±0.003 mS/cm	±0.005°С/мо

Конструктивно ГФП размещён в одном прочном корпусе, снаружи которого находятся датчики параметров воды и скорости течений. Внешний вид блока показан на рис. 3.



**Рис. 3. Блок измерения гидрофизических параметров.
Феррозондовый магнитометр**

Магнитометр Iemi-018В предназначен для измерения 3-х компонент индукции магнитного поля Земли и их вариаций, а также температуры в лабораторных и полевых условиях. Магнитометр изготовлен на основе феррозондового датчика, все три компонента которого выполнены в одном корпусе. В его состав входят: блок датчиков, в котором находятся первичные измерительные преобразователи магнитного поля, и блок электроники, который имеет встроенный термометр для измерения температуры внутри блока. Оба блока соединены специальным кабелем. Основные технические характеристики магнитометра приведены в табл. 3.

Таблица 3

Основные технические характеристики магнитометра

Диапазон измерений	$\pm 60\ 000$ нТл
Частотный диапазон	0 - 0.3 Гц
Разрешающая способность	0.01 нТл
Рабочий температурный диапазон	- 30...+40°C
Температурный дрейф	<0.2 нТл/°C
Погрешность линейности коэффициента преобразования	<0.01 %
Потребляемая мощность	<0.5 Вт
Компенсация магнитного поля	автоматическая
Основная погрешность измерений термометра	0.5 %

Феррозондовый магнитометр является автономным прибором и управляется собственным микроконтролером. Возбуждение феррозондового датчика осуществляется

специальной цепью возбуждения, создающей сигнал с минимальным содержанием второй гармоники. При временном исчезновении питания или при сбое микроконтроллера инициируется автоматический перезапуск системы. На рис. 4 представлен внешний вид магнитометра lemi-018B.



Рис. 4. Блок феррозондового магнитометра lemi-018B

Литература

Башилов И.П., Зубко Ю.Н., Левченко Д.Г., Леденев В.В., Павлюкова Е.Р., Парамонов А.А. Донные геофизические обсерватории — методы конструирования и области применения// Научное приборостроение, 2008. - Т. 18. - № 2. - С. 86-97.

Гаврилов В.А., Левченко Д.Г., Утяков Л.Л., Шехватов Б.В. Гидрохимическая донная станция для регистрации краткосрочных предвестников морских землетрясений// Океанология, 2000. - Т. 40. - № 3. - С. 456-467.

Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. М.: Наука, 2005. - 325 с.

Левченко Д.Г., Леденев В.В., Ильин И.А., Парамонов А.А. Длительный сейсмологический мониторинг морского дна с использованием автономных донных станций// Сейсмические приборы, 2009. - Т. 45. - № 1. - С. 5-22.

Beranzoli L., Etiope G., Favali P., Frugoni F., Smeiglio G. GEOSTAR observatory for geophysical and environmental monitoring// Intern. Workshop Scient. Use Submar. Cables. Japan, Okinawa, 1997. - P. 126-130.

Delaney J.R. NEPTUNE: an interactive submarine observatory at the scale of a tectonic plate// Long-Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. - P. 309.

Schultz A., Lampitt R., Peirce C., Boyle E. B. DEOS Plans for establishment of long – term mobile interdisciplinary ocean observatory systems in the N and S Atlantic// Long – Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. - P. 310-316.

Dziewonski A. Long term observatories in the oceans: synergies in science and technological solutions// Long – Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. - P. 245-246.

Favali P. SN-1: the first node of the Italian seafloor observatory network – background and perspective// 3-rd Workshop Scient. Use Subm. Cables Rel. Techn., Japan, Tokyo, 2003. - P. 19-24.

Рецензент: доктор геолого-минералогических наук И.П. Кузин, главный научный сотрудник Института океанологии РАН.

Levchenko D.G.

EDBOE, Moscow, Russia, okb@edboe.ru, levch35@mail.ru

METHODS AND MEANS OF MEASURING THE PARAMETERS OF OCEANIC ENVIRONMENT BY AUTOMATIC MULTI-PURPOSE BOTTOM STATIONS

The increase in offshore hydrocarbon production puts in the forefront the problems of safety and monitoring of offshore hydrocarbon fields, particularly in the light of the latest events in the Gulf of Mexico. Therefore, the development of new methods and equipment for underwater researches is of tremendous importance now. Automatic bottom multi-purpose stations are also the ideal mean for monitoring of underwater setting in hydrocarbon production districts because they allow simultaneous controlling a great number of sea environment parameters in an online regime.

The prime problems in developing the underwater bottom stations are choosing the methods and means of measuring the needed parameters, choosing the ways of data collection and storage, the relation of measurement results to absolute time, ensuring the necessary reliable communication for transmitting data and control commands, providing the necessary duration of autonomous work at a bottom.

Keywords: *hydrocarbon production, underwater measurements, bottom seismograph, portents of earthquakes, instruments for current velocity and direction measure, considerable movements of earth surface, acoustic and seismic signals, block of measuring hydrophysical parameters, fluxgate magnetometer.*

References

Bašilov I.P., Zubko Ū.N., Levčenko D.G., Ledenev V.V., Pavlúkova E.R., Paramonov A.A. Donnye geofizičeskie observatorii — metody konstruirovaniâ i oblasti primeneniâ// Naučnoe priborostroenie, 2008. - T. 18. - # 2. - S. 86-97.

Gavrilov V.A., Levčenko D.G., Utâkov L.L., Šehvatov B.V. Hidrohimičeskaâ donnaâ stanciâ dlâ registracii kratkosročnyh predvestnikov morskikh zemletrâsenij// Okeanologiâ, 2000. - T. 40. - # 3. - S. 456-467.

Lobkovskij L.I., Levčenko D.G., Leonov A.V., Ambrosimov A.K. Geoëkologičeskij monitoring morskikh neftegazonosnyh akvatorij. M.: Nauka, 2005. - 325 s.

Levčenko D.G., Ledenev V.V., Il'in I.A., Paramonov A.A. Dlitel'nyj sejsmologičeskij monitoring morskogo dna s ispol'zovaniem avtonomnyh donnyh stancij// Sejsmičeskie pribory, 2009. - T. - 45. - # 1. - S. 5-22.

© Левченко Д.Г., 2010