

УДК 551.46.09

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОИСКА И РЕСУРСНОЙ ОЦЕНКИ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лискин В.А., Егоров А.В., Тихонова Н.Ф.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Объектом исследований являются специальные гидрохимические измерительные средства, необходимые для разведки, поиска и исследований газогидратных месторождений на морском дне. Разработан комплекс технических средств, предназначенный для поиска и обследования регионов нахождения морских газогидратных месторождений, оценок интенсивности потоков вещества, связанных с наличием газогидратов, а также для исследований аномалий содержания метана в морских осадках. Разработан и включен в состав комплекса блок гидрохимической аппаратуры, выполняющий функции измерений интенсивности метановых потоков и других газообразных углеводородов из донных осадков. Разработаны микрокомпьютерные и схмотехнические средства, обеспечивающие управление и реализующие алгоритмы работы управляющего контроллера. Выполнена разработка и оснащение комплекса оборудованием, обеспечивающим безопасность операций постановки комплекса на дно и его снятия. В результате, с помощью представляемого комплекса технических средств, стало возможным измерение величин восходящих со дна потоков метана, причем независимо от формы метана (растворенного или в виде пузырьков). Помимо потока метана, подводный телеуправляемый комплекс позволяет проводить исследования потоков других химических соединений, таких как сульфаты или хлор, для чего комплекс снабжается геологическими пробоотборниками. Выполнены промежуточные испытания аппаратно-программных элементов комплекса. Прорабатываются необходимые средства, относящиеся к вспомогательному оборудованию, а именно подсистемы навигации, подводного позиционирования и гидролокационного поиска, а также гидроакустические и космические средства общесудового и специального назначения. В результате проведенных исследований и разработок созданы специальные технические средства, в том числе телеуправляемый комплекс для обнаружения и исследования газовых гидратов на морском дне.

Ключевые слова: гидрохимическая аппаратура, телеуправляемый комплекс, газовые гидраты, аномалии, метан

HYDROCHEMICAL MEASURING MEANS DESIGN FOR MARINE GAS-HYDROGEN DEPOSITS SEARCH AND RESERVES ESTIMATION

Liskin V.A., Egorov A.V., Tikhonova N.F.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

The object of research is special hydrochemical measuring tools necessary for the exploration, search and research of gas hydrate deposits on the seabed. A set of technical means has been developed for searching and examining regions where marine gas hydrate deposits are located, estimating the intensity of substance flows associated with the presence of gas hydrates, and also for studying anomalies in the methane content in marine sediments. A block of hydrochemical equipment was developed and included in the complex, which performs the functions of measuring the intensity of methane flows and other gaseous hydrocarbons from bottom sediments. Microcomputer and circuitry tools have been developed that provide control and implement the operating algorithms of the control controller. The development and equipping of the complex with equipment ensuring the safety of operations of setting the complex to the bottom and removing it has been completed. As a result, using the presented complex of technical means, it became possible to measure the values of methane ascending from the bottom, regardless of the form of methane (dissolved or in the form of bubbles). In addition to the methane stream, the underwater remote-controlled complex allows the study of flows of other chemical compounds, such as sulfate or chlorine, for which the complex is equipped with geological samplers. Intermediate tests of the hardware-software elements of the complex are carried out. The necessary tools are being worked out related to auxiliary equipment, namely the subsystems of navigation, underwater positioning and sonar search, as well as sonar and space means for general and special purposes. As a result of the research and development, special technical equipment was created, as well as an underwater, remote-controlled complex for the detection and study of gas hydrates on the seabed.

Keywords: hydrochemical equipment, remote control complex, gas hydrates, anomalies, methane

Рассмотрено создание гидрохимических измерительных средств, включаемых в состав анализируемого ниже подводного телеуправляемого комплекса. Комплекс и входящая в его состав измерительная аппаратура по своей специфике являются средствами для проведения геохимических исследований в морской среде и предназначены в том числе для обнаружения и оценки ресурсов морских газогидратных

месторождений. Другим важным назначением комплекса является проведение измерений потока химических элементов через поверхность раздела вода – дно. Так как образование и существование газовых гидратов обусловлено наличием восходящего потока метана, то предлагаемый комплекс аппаратуры является одним из инструментов исследований названных процессов. Выполнено исследование методов и осо-

бенностей измерения гидрохимических параметров придонного слоя воды и донных осадков, для чего комплекс оборудуется соответствующими датчиками. Другой особенностью исследований является возможность получения характеристик придонных вод в автоматическом режиме в течение продолжительного времени на достаточно больших глубинах. Для этих целей в состав комплекса включены приспособления для отбора проб воды и донных осадков через интервалы времени, предусмотренные программой экспериментов.

Назначение и область применения

Подводный телеуправляемый комплекс предназначен, прежде всего, для обнаружения и исследований газогидратных проявлений на морском дне, для измерения величин восходящего потока метана, как растворенного в морской воде, так и в виде пузырьков. Кроме того, комплекс позволяет измерять потоки таких химических соединений, как хлор или сульфат. Все эти потоки связаны с восходящей фильтрацией глубинных вод. По величинам потока основных ионов может быть рассчитана скорость восходящей фильтрации, но для этого необходимо определение концентрации ионов в фильтрующейся жидкости. Для определения требуемой концентрации ионов необходимо проводить отборы проб осадка в месте постановки блока специализированной аппаратуры, а непосредственное взятие этих проб осуществляется геологическим пробоотборником. Кроме того, проводятся вспомогательные измерения теплового потока (термоградиента) в осадках и визуальные наблюдения в случае наличия пузырьковой разгрузки метана со дна. Также необходимо вести получение данных по временной изменчивости этих параметров, что крайне важно для оценки возможных ресурсов газогидратов в районах проводимых исследований. Подводный телеуправляемый комплекс осуществляет постановку блока гидрохимической аппаратуры на дно и активацию его в рабочий режим на определенное время (время экспозиции). В течение этого времени в непрерывном режиме (скважность 1–2 мин) определяется величина и направление скорости течения и температура внешней воды, содержание кислорода в придонной воде в рабочем и фоновом боксах. Вся эта информация записывается в цифровую память микрокомпьютера бортового блока, откуда в дальнейшем считывается в компьютеры судового центра обработки. Через заданный интервал времени блоки автоматического пробоотбора постановочного блока производят отбор порций

воды из рабочего и фоновых боксов. За счет обмена химическими элементами и процессов, происходящих в самой воде, концентрации их в объеме боксов изменяются. По этим изменениям определяются потоки через поверхность раздела вода – дно.

Гидрохимические боксы

В состав подводного телеуправляемого комплекса включаются блоки гидрохимической аппаратуры, предназначенные для проведения исследований процессов массообмена химическими элементами через поверхность раздела вода – дно. Важнейшим элементом блока гидрохимической аппаратуры является бокс, а точнее, целый ряд боксов, при постановке на дно заглубляющихся своими краями в грунт (кроме фоновых) и ограждающих от окружающей водной среды стенками объем воды с частью дна. Расчеты потоков обмена элементами через дно проводятся на основании измеренных изменений концентраций веществ в объеме боксов. При этом необходимо проводить постоянное перемешивание воды в боксе с целью уменьшения погрешностей измерений. Перечислим основные боксы в соответствии с выполняемыми функциями: рабочий бокс, фоновый бокс, гидрохиноновый (бокс турбулизации). Существенной частью создаваемого комплекса, является упомянутый выше рабочий бокс, снабженный устройством для перемешивания воды. Кроме того, в состав комплекса включается блок автоматического пробоотбора морской воды и фотометрические датчики кислорода с устройствами накопления данных. Отдельно выполнен прочный герметичный корпус для блока питания, электрических кабелей с герметичными разъемами и комплекса аппаратуры управляющего микропроцессорного контроллера. Там же размещается блок технических средств, несущих вспомогательные функции, среди них отметим: фоновый бокс, гидрохиноновый бокс, кассеты с гидрохиноновыми таблетками, Вспомогательный гидрохиноновый бокс применяется для пересчета результатов измерений в закрытой системе бокса на открытую систему морской воды [1–3].

Рабочий бокс

Для исследований газогидратных проявлений проводится изоляция некоторого объема воды и контактирующего с ним участка дна, посредством специального рабочего бокса. Для правильного функционирования рабочего бокса используется подсистема принудительной промывки рабочего объема бокса, вслед за постановкой на грунт. Имитация в боксе специфической

гидродинамики придонного слоя осуществляется принудительным перемешиванием воды, а измерения концентраций элементов в боксе осуществляются периодически. Для этого ведется отбор проб воды из бокса, что компенсируется таким же объемом внешней воды. В процессе заданной экспозиции на дне, содержание растворенных элементов в замкнутом объеме бокса изменяется и используется для расчета потоков этих элементов через поверхность раздела вода – осадок. Необходимая для последующего комплексного анализа концентрация кислорода в боксе измеряется посредством чувствительного датчика непрерывно действия.

Фоновый бокс

Вычленение биохимических и гидрохимических преобразований, идущих в замкнутом объеме воды, проводится с помощью не имеющего открытого контакта с дном фонового бокса, в отличие от контактирующего с участком дна открытого рабочего бокса. Внутренний объем рабочего бокса контактирует с поверхностью дна, а в фоновом боксе между дном и внутренним объемом должна стоять непроницаемая перегородка. Начальный же состав воды в фоновом и рабочем боксах одинаков. Процедура отбора проб, перемешивающее устройство, датчики и другие вспомогательные устройства в обоих боксах также одинаковы. Изменения концентраций элементов после постановки на грунт, в объеме фонового бокса, будут определяться только процессами в воде (влияние дна исключено). Так как процессы в воде для фонового и рабочего боксов одинаковы, мы можем вычлесть из изменений концентраций в рабочем боксе изменения в фоновом боксе. Разница концентраций будет определяться исключительно процессами обмена через границу раздела вода – осадок. Заметим, что в фоновом боксе имеется закрывающееся специальное нижнее промывочное отверстие, через которое бокс заполняется водой в процессе опускания комплекса и которое закрывается на дне, а рабочий бокс вообще не имеет дна.

Гидрохиноновый бокс

Контроль степени перемешивания (турбулизации) воды внутри боксов осуществляется с помощью специального гидрохинонового бокса. Отметим, что внутренний объем всех трех боксов – рабочего, фонового и гидрохинонового – одинаков, как и системы перемешивания одинаковы. Оценка степени турбулизации осуществляется по скорости растворения гидрохинона (спе-

циального слаборастворимого вещества), заполняющего специальные гидрохиноновые площадки. Изменяя степень турбулизации, можно управлять толщиной диффузионного подслоя – тонкого слоя воды вблизи твердой поверхности, с которой, в свою очередь, связаны скорости растворений. В предлагаемой конструкции гидрохинонового бокса степень турбулизации может меняться за счет соответствующих изменений в размерах площади лопастей мешалок. Как показали опыты, скорость растворения гидрохинона прямо пропорциональна площади лопастей и может изменяться в 4–5 раз [4–6].

Подсистема управления

Подсистема выполняет управление автоматической системой пробоотбора, закрытием и открытием промывочных отверстий в верхних крышках рабочего и фонового боксов, обеспечивает питание перемешивающих устройств стабилизированным по напряжению постоянным током. Конструктивно подсистема состоит из прочного корпуса, блока питания, управляющего микропроцессорного контроллера, внутренних коммуникационных проводов и разъемов, необходимых для программирования работы подводного телеуправляемого комплекса, а также из внешних коммуникаций.

Основные характеристики подсистемы управления:

- оптимизированы весогабаритные параметры;
- обладает функциональной гибкостью;
- имеет большой запас рабочей глубины (3000 м);
- легко собирается и разбирается;
- удобно крепится на станции.

Разработаны и изготовлены коммутационные соединения блока гидрохимической аппаратуры. В них использованы удобные для использования в морских условиях разъемы, позволяющие соединять их без предварительной просушки. Была полностью обеспечена потребность коммутаций элементов комплекса, заключающаяся в двух типах специальных разъемов и, соответственно, двух типов кабелей. Блочные части разъемов герметично устанавливались на коммутируемых блоках, а съемные были объединены в две подсистемы в зависимости от типа кабеля.

Модернизация

вспомогательных подсистем

Осуществлено обоснование и разработка функциональных схем электрической части гидрохимического блока, включающих: интерфейсы подключения электрохимиче-

ских измерителей концентраций кислорода в морской воде и величины pH, а также ранее разработанного гидрофизического модуля. Разработан специальный аппаратный интерфейс для гидроакустического канала связи и системы измерения, считывания и передачи электрических сигналов с датчиков. Модернизирована подсистема сбора и накопления информации; подсистема программного и операционного обеспечения работы отдельных устройств станции (работа моторов, шприцев и т.д.). Усовершенствован блок пробоотборников гидрохимического модуля с шаговым приводом исполнительного механизма. Проведены лабораторные испытания всех устройств, блоков и подсистем гидрохимического модуля. В ближайшей перспективе предполагается оснащение комплекса гидроакустической связью для дистанционного считывания информации и передачи команд управления. Предполагается использование корреляционного метода передачи гидроакустических сигналов. Ведется разработка комплекса программ, в которые входят: пакеты моделирования многолучевости и доплеровских смещений, программ обнаружения передаваемой информации, программ генерации излучаемых сигналов.

Механическая модернизация

Проведена модернизация ранее разработанных функциональных узлов и состава механической части комплекса, включающей: опускаемую с судна на морское дно на тросе или в свободном падении несущую металлическую раму с установленными на ней специальными камерами. Для отбора проб придонной воды из боксов устанавливается набор специальных шприцев, а также гидрохиноновый блок – комплекс, позволяющий корректировать разницу в гидродинамике внутри боксов и снаружи, а перемешивание воды в боксах, имитирующих придонную гидродинамику, осуществляется управляемыми моторами. Кроме того, комплекс оборудуется механической подсистемой для отбора донных осадков из-под боксов, после окончания эксперимента.

Реализация плавной постановки на дно

При постановке комплекса на дно происходят определенные нарушения донной поверхности, которые могут повлиять на интенсивность обменных процессов между водой и осадком. Это нарушение неразрывности слоя осадков происходит под воздействием внедряемых в осадок краев бокса. При внедрении краев бокса в осадок возможно добиться уменьшения нежелатель-

ных краевых эффектов, для чего края бокса должны быть достаточно тонкими, а размер дна, ограниченный стенками бокса, достаточно большим. Внедрение в осадок должно быть плавным, без ударных нагрузок, нарушающих структуру поверхности осадка. Для донных комплексов были разработаны разнообразные системы плавной постановки на дно. Возможно использование систем, снабженных водяными парашютами. Но наиболее распространенными остаются системы, в которых плавность постановки достигается в два этапа. Первый этап – это установка на дно внешней рамы комплекса. Далее, плавно опускается на дно весь комплекс аппаратуры, включая специальную гидрохимическую аппаратуру. Была проведена проработка техники отдачи балласта гидрохимическим блоком подводного телеуправляемого комплекса. Результатом этого явилась разработка варианта конструкции на базе унифицированных размыкателей троса. Предложенная система отдачи балласта должна обеспечивать всплытие рамной конструкции гидрохимического блока по окончании инкубации на дне. Установленная положительная плавучесть соответствует 50 кг (без балласта). Два гидроакустических размыкающих устройства дублируются размыкающим устройством с пережиганием. Рабочая глубина системы отдачи балласта рассчитана на 2000 м, дальность действия системы гидроакустического управления всплытием – 3000 м, автономность – 30 суток, период управления всплытием по таймеру регулируется в пределах 30 суток с дискретностью одни сутки. Предусмотрено наличие гидроакустической связи после срабатывания механизмов размыкания (масса одного размыкающего элемента не превышает 15 кг) [7–9].

Заключение

Проведено исследование задач, особенностей и методов измерения гидрохимических параметров придонного слоя воды и донных осадков. Сложность проблемы заключается в получении характеристик *in situ* в течение продолжительного времени в автоматическом режиме на достаточно больших глубинах. Для этих целей подводный телеуправляемый комплекс оборудуется датчиками химических параметров и приспособлениями для отбора проб воды и донных осадков в предусмотренные программой экспериментов интервалы времени. Выполнено обоснование функциональной схемы механической части комплекса. Она включает: несущую металлическую раму с установленными на ней камерами, которая опускается с судна на морское дно

на тресе или в свободном падении (тонкая балансировка механической конструкции, возможен парашют); моторы для перемешивания воды в боксах, имитирующие придонную гидродинамику; блок шприцев для отбора проб придонной воды из боксов; гидрохиноновый блок – систему позволяющую корректировать разницу в гидродинамике внутри боксов и снаружи; систему спуска – подъема; устройство для отбора донных осадков из-под боксов после окончания эксперимента. Выполнена разработка и изготовление конструктивных и функциональных элементов опытного образца подводного телеуправляемого комплекса, включая специализированную гидрохимическую аппаратуру для исследования газовых гидратов. Предварительно выполнены конструктивные проработки и макетирование разрабатываемой аппаратуры, а также промежуточные испытания элементов комплекса. Был предложен и отработан комплекс специальных средств, в числе которых отметим: подсистему гидролокационного поиска, гидроакустические средства связи, подводного позиционирования и навигации, средства общесудового и специального назначения, в том числе космические. С помощью этих средств предварительно проводится обследование акваторий для последующих постановок исследовательской аппаратуры. Управление всплываем подводного телеуправляемого комплекса обеспечивается набором специальных акустических подсистем. В дальнейшем предполагается оснастить комплекс независимыми системами отдачи балласта, обеспечивающими всплытие.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН на 2020 г. (тема

№ 0149-2020-0011) при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00384_А и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

Список литературы

1. Rozhkov A., Egorov A. One-dimensional model of gas hydrate formation in underwater mud volcanoes, 10th International Conference on Gas in Marine Sediments, 6–12 September, 2010, Limnological Institute SB RAS, Listvyanka (Lake Baikal), Russia, ATRACTS, P. 138–140.
2. Зимин А.В. Короткопериодная изменчивость гидрофизических полей и характеристик внутреннего волнения в течение полусуточного приливного цикла в шельфовых районах Белого моря // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 293–303.
3. Черников А.Г., Либина Н.В. Новый способ дистанционного прогнозирования и 3D моделирования геологических и гидрологических структур морских акваторий на основе нелинейной марковской статистики // *Морские исследования и образование: материалы II международной научно-практической конференции (Москва, 28–30 октября 2013 г.)*. М., 2013. С. 123–126.
4. Бабий В.И., Бабий М.В., Родионов А.А. Показатели качества измерений гидрофизических полей океана // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015»*. Т. 1. М., 2015. С. 48–53.
5. Лискин В.А., Егоров А.В., Лежнин В.А. Подход к разработке и созданию модифицируемых донных станций // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013»* – Т. 2. М., 2013. С. 288–289.
6. Смирнов Г.В., Аистов Е.А., Оленин А.Л. Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011»*. Т. 1. М., 2011. С. 104–106.
7. Kudryavtsev V., Kozlov I., Chapron B., Johannessen J.A. Quad-polarization SAR features of ocean currents. *J. Geophys. Res. Oceans*. 2014. 119 p. DOI: 10.1002/2014JC010173.
8. Лобковский Л.И., Ковачев С.А. Система геодинамического мониторинга морской нефтегазодобычи на шельфе на примере морского нефтегазового месторождения имени Ю. Корчагина // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2010. № 11. С. 11–14.