

УДК 551.46.09

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ И ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА В ПРИДОННОЙ ОБЛАСТИ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ

<sup>1</sup>Лискин В.А., <sup>1</sup>Егоров А.В., <sup>1,2</sup>Римский-Корсаков Н.А., <sup>1</sup>Тихонова Н.Ф.

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

Представлено описание разрабатываемой аппаратуры в составе подводного телеуправляемого донного комплекса, для измерения химических потоков вещества в придонной области акваторий, для автоматизированной оценки аномалий содержания метана в морских осадках, а также для обнаружения и оценки ресурсов морских газогидратных месторождений. Разработаны и созданы элементы подводной исследовательской аппаратуры, функционирующей в составе подводного телеуправляемого донного комплекса. Выполнено макетирование и изготовление отдельных электронных блоков видеосистемы комплекса, системы освещения и управления видеомодуля, а также блока специализированной аппаратуры сбора гидрохимических данных, работающего в составе донной станции. Разработаны и отмакетированы донные камеры, с автоматическим устройством отбора проб воды для химических анализов, электронные узлы управления и сбора данных оптического датчика, для измерения содержания кислорода, и датчика измерения теплового потока. Испытан механизм устройства разового отбора проб, донного грунта и др. Проведены промежуточные испытания блоков и устройств, модернизированной конструкции подводного телеуправляемого донного комплекса, отвечающего требованиям расширенных функциональных возможностей, в том числе по изучению газовых гидратов, надежности и удобства эксплуатации. Новизна предложенных решений состоит в разработке системной концепции проведения работ по изучению придонных процессов (в том числе газовых гидратов) на дне с использованием подводных телеуправляемых донных комплексов. В основе концепции заложены теоретические модели механизмов вертикального переноса метаносодержащих флюидов и оригинальные технические решения, по созданию блока специализированной аппаратуры, что значительно повышает точность количественных расчетов потоков химических элементов через морское дно. Это направление работ относится к самым современным направлениям исследований, кроме прочих, проблемы газовых гидратов на дне Мирового океана.

**Ключевые слова:** боксовый метод, химический поток, обмен, вещество, подводная разгрузка, метан, видеосистемы, отбор проб

## DEVELOPMENT OF NEW GENERATION TOOLS FOR STUDYING THE STATE AND FLUXES NEAR-BOTTOM MATTER OF MARGINAL SEAS

<sup>1</sup>Liskin V.A., <sup>1</sup>Egorov A.V., <sup>1,2</sup>Rimskiy-Korsakov N.A., <sup>1</sup>Tikhonova N.F.

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow

The description of the developed equipment in the underwater remote-controlled bottom complex, for measuring chemical flows of matter in the near-bottom area of the water areas, for automated estimation of anomalies in methane content in marine sediments, and also for discovering and estimating the resources of marine gas hydrate deposits is presented. Elements of the underwater research equipment functioning as part of the underwater remote-controlled bottom complex have been developed and created. The prototyping and manufacturing of separate electronic blocks of the video system of the complex, the lighting and control system of the video module, as well as the specialized hydrochemical data collection unit operating as part of the bottom station have been done. The bottom chambers have been designed and mapped, with an automatic device for sampling water for chemical analysis, electronic control and data collection units for the optical sensor, for measuring oxygen content, and a sensor for measuring heat flow. The mechanism of the device for single sampling, bottom sediment, etc. was tested. Interim tests of blocks and devices, modernized design of the underwater remote-controlled bottom complex, meeting the requirements of extended functionality, including gas hydrates, reliability and ease of operation were carried out. The novelty of the proposed solutions is the development of a system concept for the work on the study of bottom processes (including gas hydrates) at the bottom using underwater remote-controlled bottom complexes. The concept is based on theoretical models of mechanisms of vertical transport of methane-containing fluids, and original technical solutions for the creation of a block of specialized equipment, which significantly improves the accuracy of quantitative calculations of the fluxes of chemical elements across the seabed. This line of work relates to the most modern research areas, among others, the problems of gas hydrates at the bottom of the World Ocean.

**Keywords:** boxing method, chemical flow, exchange, substance, underwater unloading, methane, video systems, sampling

Особое место в исследованиях и мониторинге океанов и морей занимает изучение процессов качественного и количественного массообмена на поверхности раздела «вода – дно». Газы и другие химические компоненты, выделяемые и поглощаемые

донными отложениями, являются отражением постседиментационных процессов и процессов, связанных с формированием месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа, а также степени антропогенного воздействия на среду. Они могут

быть зафиксированы в растворенном или газообразном состоянии в придонной воде. На этом основан метод донных камер, позволяющий с помощью донных станций, количественно оценить химический обмен на границе «вода – дно», путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов.

В этой связи разработка инструментальных средств нового поколения для исследований придонных процессов, в том числе, измерения химических потоков вещества и исследования газовых гидратов, очевидна. Приводится описание разработки основных элементов глубоководной буксируемой и постановочной видео- и гидрохимической аппаратуры, для исследований придонных процессов, поиска и идентификации газовых гидратов, а также для выбора рабочей зоны для постановочного донного гидрохимического модуля. Предлагаются оригинальные технические решения по созданию специализированной (в том числе гидрохимической) аппаратуры в составе подводного телеуправляемого донного комплекса. Кроме того, предполагается применение не имеющей аналогов, оригинальной трехбоксовой структуры донного гидрохимического блока. Такой подход значительно повышает точность количественных расчетов потоков химических элементов через морское дно. Выполнена проработка оснащения буксируемого и постановочного модулей двухуровневой системы видеонаблюдения, что существенно расширяет функциональные возможности разрабатываемого комплекса [1–3].

#### *Исследования и разработка основных узлов видеомодуля*

В ходе проработки условий и последовательности этапов работы по созданию комплекса аппаратуры, включающего видеосистему и геохимический модуль, обоснована необходимость функционального разделения такого комплекса на независимые подсистемы. Первая подсистема, относящаяся к буксируемому телеуправляемому видеомодулю, имеет раму, цифровую видеокамеру высокого разрешения, осветители на базе сверхъярких светодиодов белого свечения и др. На раме установлены элементы крепления постановочного модуля – донной геохимической станции. В свою очередь, постановочный модуль имеет свою независимую видеосистему, задача которой – отслеживание во времени масштабов и изменчивости газовыделения со дна, в месте постановки донной станции, а также наблюдение за функционированием программируемых подсистем донной станции, включающих систему автоматического

пробоотбора и подвижные крышки рабочего и фонового боксов.

Проведено макетирование видеосистемы, для дистанционного наблюдения за объектами под водой на глубинах до 2000 м. Разработаны элементы конструкции, обеспечивающие гибкий монтаж видеокамеры и комплекса светодиодных осветителей на постановочном модуле, а также практически круговую ориентацию камеры под водой. Видеокамера размещается в прочном корпусе с иллюминатором из акрилового стекла и обеспечена герметичными вводами для управления работой и считыванием записанных в течение времени экспозиции видеоматериалов. Цифровая видеокамера с матрицей высокого разрешения обеспечивает обнаружение объектов с размерами от 3 мм, что достаточно для видеорегистрации высачиваний пузырьков метана, сопровождающих образование и разложение газовых гидратов. Конструкция компоновки и взаимного расположения видеокамеры и светодиодных осветителей яркого света, обеспечивает эффективную работу видеокамеры в затемненных условиях. Созданные электронные компоненты в составе видеосистемы обеспечивают оптимальные режимы работы световидеокомплекса, а также функции управления.

#### *Исследования и разработка основных узлов донного модуля*

Разработана пространственная компоновка и конструкция блока специализированной гидрохимической аппаратуры, для автоматизированного анализа придонного потока вещества. Пространственная компоновка разрабатывалась на базе ранее отмакетированной донной станции. Станция включает цилиндрическую раму трубной конструкции, на которой крепятся все основные элементы комплекса, включающие три бокса, два автоматических пробоотборника и сенсоры для анализа придонного потока вещества. Там же размещены блок управления работой станции, блок питания, донный видеомодуль, для автоматической записи параметров газового высачивания, с целью последующего расчета восходящего потока метана. Используется оригинальная трехбоксовая структура донного гидрохимического блока донной станции, не имеющая аналогов. Система автоматизированного сбора гидрохимических данных состоит из блока автоматического отбора проб воды, из рабочего и фонового боксов, управляемых программируемым контроллером, передающим команды на исполняющие элементы. В них входят – шаговый двигатель и механические элементы, производящие всасывание проб воды в шпри-

цы большого объема, функционирующие за счет энергии предварительно сжатых пружин. Датчики, контролирующие потребление кислорода осадком, за счет окисления метана из разлагающихся газовых гидратов, электрически соединены с платой накопления информации, расположенной в герметичном корпусе. С целью оптимизации параметров и размеров элементов комплекса выполнены расчеты прочности жестких корпусов блоков турбулизации и управления работой донного комплекса, подобраны оптимальные материалы для изготовления элементов конструкции, изготовлены макеты и проведены их испытания в камере высокого давления [4, 5].

#### *Макетирование и отработка основных узлов*

Осуществлялось макетирование отдельных электронных блоков видеосистемы, системы освещения и управления видеомодуля, а также блока специализированной аппаратуры сбора гидрохимических данных, работающего в составе донного комплекса. На этой базе отработаны основные узлы управляющего блока бортовой электронной системы сбора гидрохимических данных и выполнено изготовление отдельных электронных блоков видеосистемы. Проведена адаптация схемотехнических средств и алгоритмов коммутационной подсистемы контроллера, обеспечивающего управление блоком специализированной аппаратуры, тремя перемешивающими устройствами и автоматическим пробоотбором. Разрабатываемый подводный телеуправляемый донный комплекс имеет оригинальные технические решения, включающие наличие вспомогательных донных камер, что дает возможность повысить точность количественных расчетов потоков химических элементов через морское дно. Оснащение двухуровневой системой видеонаблюдения, состоящей из бультируемого и постановочного видео-модулей, существенно расширяет функциональные возможности разрабатываемого комплекса.

#### *Разработка программы испытаний*

Программа испытаний аппаратуры сбора гидрохимических данных включает лабораторные и натурные испытания. Проведены лабораторные испытания герметичных корпусов блока питания и управления работы станции на стенде до давлений, превышающих требования технического задания на 10%. Программа испытаний, состоит из пяти циклов набора и сброса давления, начиная от 120 до 220 атмосфер. Программа натурных испытаний предполагает испыта-

ние всей системы в сборе в ходе экспедиционных работ, например, на озере Байкал при глубинах 400, 900 и 1400 м. Температура придонной воды в этом регионе составляет 3,3 градуса, что позволяет формироваться газовым гидратам на глубинах свыше 350 м. На основе разработанной программы и методики испытаний гидрохимического блока и постановочного видеомодуля были проведены испытания в лабораторных условиях, элементов блока специализированной аппаратуры и постановочного видеомодуля.

Проведены частичные испытания по программированию управляющего контроллера и определения интервалов времени ( $t$ ), для подачи специальных команд:  $(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + 4 \times t_6)$ .

$t_1$  – время до подачи питания на выходные клеммы вспомогательного перемешивающего устройства. Поскольку это устройство пока не используется, то этот параметр рекомендуется задать равным нулю ( $t_1 = 00\ 00$ ).

$t_2$  – время постепенного увеличения напряжения на выходных клеммах вспомогательного перемешивающего устройства. Поскольку это устройство пока не используется, то этот параметр так же рекомендуется задать равным нулю ( $t_2 = 00\ 00$ ).

$t_3$  – время от включения питания до начала срабатывания блока автоматического пробоотбора. Это время должно определяться потребностью в степени начальной промывки рабочего и фоновых баков. Определить это время можно, контролируя скорость изменения концентрации кислорода в рабочем и фоновом баках. Рекомендуемое время  $t_3$  – 4 часа, однако надо учитывать «паразитное» время между подачей питания на контроллер и постановкой станции на дне.

$t_4$  – время работы шагового двигателя, оно определяется необходимостью поворота оси со спусковыми кулачками на 45 градусов. Опытным путем установлено, что для этого нужно 3,6 секунды. Этому времени соответствует значение  $t_4 = 36$ .

$t_5$  – время задержки первого отбора пробы, после закрытия промывочного отверстия. Оно может выбираться в зависимости от задач исследования и определяет начальную точку измерений потоков. Можно ставить практически сразу после закрытия промывочного отверстия, с интервалом в 10 минут, для успокоения возможных воздействий от закрытия крышки промывочного устройства.

$t_6$  – интервал между пробоотбором последовательных шприцов. Этот интервал связан с длительностью постановки ( $t_{\text{общ}}$ ). Для расчета  $t_6$  используется соотношение:

$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + 4 \times t_6 = t_{\text{общ}}$  – время постановки. Для суточных постановок  $t_6$  устанавливается 5 часов.

По результатам предварительных испытаний был сделан вывод о необходимости тщательного контроля последовательности предпоставочных операций, по обслуживанию донной гидрохимической станции.

#### *Области и масштабы использования*

Полученные в результате исследований и разработок результаты могут быть использованы в той части океанологии, которая занимается оценкой энергетических ресурсов Мирового океана. Ресурсная оценка метана, связанного в газовых гидратах, находящихся в морских осадках, является одной из основных задач в национальных программах по изучению природных газовых гидратов, принятых в США, Канаде, Японии, Индии и Южной Корее. В настоящее время основной интерес к природным газовым гидратам в акваториях сконцентрирован на энергетической значимости газовых гидратов, как источника экологически чистой энергии в будущем. Ресурсы газовых гидратов связаны с ресурсами обычного газа и нефти в акваториях, и многие результаты по исследованию газовых гидратов могут быть использованы для решения задач, связанных с традиционными нефтегазовыми ресурсами. Все это стимулирует развитие новых технологий, которые могут быть использованы и для других задач, связанных с изучением Мирового океана. В частности, донные комплексы могут быть использованы при экологическом мониторинге акваторий, подвергшихся воздействию мощной антропогенной нагрузки. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы как в дальнейших исследованиях, так и в совершенствовании аппаратуры, в составе подводного телеуправляемого донного комплекса [6, 7].

#### **Выводы**

Выполнено макетирование и изготовление отдельных электронных блоков видеосистемы, системы освещения и управления видеомодуля, а также блока специализированной аппаратуры сбора гидрохимических данных, работающего в составе донной станции. Разработаны и отмакетированы донные камеры, с автоматическим устройством отбора проб воды для химических анализов, электронные узлы управления и сбора данных оптоволоконного датчика, для измерения содержания кислорода и датчика измерения теплового потока. Испытан механизм устройства разового отбора проб, донного грунта и др. Проведены промежуточные испытания блоков и устройств, модернизированной конструкции подводного телеуправляемого донного комплекса, отвечающего требованиям расширенных функ-

циональных возможностей, по изучению газовых гидратов, надежности и удобства эксплуатации. Новизна научных решений состоит в разработке системной концепции проведения работ по изучению придонных процессов, в том числе газовых гидратов на дне, с использованием подводного телеуправляемого донного комплекса. В основу концепции положены теоретические модели механизмов вертикального переноса метано-содержащих флюидов, и оригинальные технические решения по созданию блока специализированной аппаратуры, что значительно повышает точность количественных расчетов, потоков химических элементов через морское дно. Научная и практическая значимость заключается в открывающихся возможностях исследований и оценок ресурсов метана, связанного в газовые гидраты, находящиеся в морских осадках, и являющиеся источником экологически чистой энергии в будущем. Все это стимулирует развитие новых технологий, которые могут быть использованы и для других задач, связанных с изучением окраинных морей. В частности, подводные телеуправляемые донные комплексы могут быть использованы при экологическом мониторинге акваторий.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект № РГО-а 17-05-41041), а также РНФ (проект 14-50-00095).*

#### **Список литературы**

1. Авиллов В.И., Авиллова С.Д. Методологический подход к разработке специализированных технических средств акваториологии // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XI Международной научно-технической конференции. – М., 2009. – С. 53–57.
2. 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. – М., 2011. – С. 104–106.
3. Макагон Ю.Ф. К вопросу о ресурсах газа в гидратном состоянии // Газовые гидраты в экосистеме Земли. Тезисы докладов. – Новосибирск, 2003. – С. 53–56.
4. Авиллов В.И. Газобиохимические методы исследования придонной среды // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции. – М., 2013. – С. 93–98.
5. Егоров А.В., Рожков А.Н., Черняев Е.С. Методы исследования тепловых эффектов при формировании и разложении газовых гидратов в глубоководных условиях // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции. – М., 2013. – С. 285–288.
6. Соловьев В.А. Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 47, № 3. – С. 59–69.
7. Амбросимов А.К., Голубов Б.Н. Металлоносность вод и донных осадков Северного Каспия как показатель субмаринной разгрузки флюидов из его недр // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции. – М., 2013. – С. 98–102.