

УДК 629.584:551.46

МАНИПУЛЯЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

© 2012 А. В. Алексеев, А. Л. Оленин, Г. В. Смирнов, А. Н. Фендриков

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

В статье показана необходимость объединения технологического и научного оборудования современных обитаемых подводных аппаратов в манипуляционно-технологический комплекс модульной конструкции. Обсуждаются особенности его монтажа, эксплуатации и дальнейшего совершенствования.

Обитаемый подводный аппарат, манипуляционно-технологический комплекс.

Введение

Мировой океан играет первостепенную роль в развитии экономической и социальной жизни России, что определяется не столько протяжённостью морских границ, но площадью шельфовой территории. Согласно [1] протяжённость границ морского побережья более 38 тыс. километров, а площадь шельфа - 4,2 млн. кв. километров, богатых биологическими и углеводородными ресурсами, а также металлическими рудами. Современные знания о протекании природных процессов в Мировом океане сформировались в значительной степени благодаря взрывному росту целенаправленных океанологических исследований в последней половине прошлого века. Однако говорить о полноте знаний, о процессах, протекающих в океане, не приходится, так как и сейчас океан ещё остаётся частично изученным. Расширение хозяйственной деятельности на акватории окраинных морей России неизбежно влечёт дальнейшее фундаментальное изучение природы океана.

Интенсификация промышленного освоения океана должна сопровождаться совершенствованием системы контроля состояния морской среды и получением качественной информации для принятия управленческих решений при реализации как действующих, так и перспективных хозяйственных проектов. Рачительное хозяйствование на столь обширных и малоизученных территориях, как шельф Рос-

сии, настоятельно требует непрерывного экологического мониторинга среды для своевременного предупреждения возникновения критических ситуаций. При этом мониторинг морской среды должен охватывать всё многообразие процессов, протекающих в морях и океанах, с учётом сложных взаимосвязей отдельных компонентов, т.е. быть многокомпонентным и междисциплинарным. Последнее может быть обеспечено только при существенном развитии информационно-измерительной техники и новых технологий океанологических исследований. Внедрение в практику экспериментальных исследований океана многокомпонентной системы сбора информации об изменчивости параметров гидрофизических полей позволило проводить регулярные наблюдения на больших акваториях океана с целью мониторинга состояния океанических бассейнов [2]. Сравнительно новым компонентом информационной системы при проведении экспериментальных исследований в океане являются обитаемые подводные аппараты (ОПА), создание которых ознаменовало появление принципиально нового средства изучения океана.

Подводные аппараты используются при проведении широкого спектра работ на дне и в придонном пространстве. В частности, работы по исследованию природы мирового океана [3]; обзорно-поисковые работы, направленные на поиск и обследование затонувших объектов,

контроль состояния подводных коммуникаций и инженерных сооружений; геологоразведочные работы (картографирование и профилирование дна, фото- и видеосъёмки); манипуляционно-технические и аварийно-спасательные работы; подводные монтажно-прокладочные работы.

Для выполнения перечисленных работ стала очевидной необходимость объединения технологического и научного оборудования ОПА в единый манипуляционно-технологический комплекс.

Манипуляционно-технологический комплекс ОПА

На основе анализа комплекса научно-исследовательских и подводно-технических работ, планируемых и выполняемых с использованием ОПА, составлен и приведён в таблице ориентировочный перечень оборудования и океанологических измерительных приборов, необходимых для их выполнения [2, 3].

Каждое погружение ОПА, особенно на большие глубины, связано с затратой больших сил и средств, заранее детально планируется и технологически прорабатывается. Особенно тщательно анализируются особенности установки на ОПА дополнительного оборудования. Весьма важно в деталях заранее проработать последовательность и перечень операций ОПА, действующего в неопределённой среде. Поэтому предпочтительнее при погружении иметь на ОПА избыточность оборудования, что с большей вероятностью обеспечит успешное выполнение задачи в случае возникновения непредвиденных ситуаций.

Однако отсутствие возможности быстрой замены одного комплекта технологического и научного оборудования другим является на сегодняшний день серьёзным недостатком, заставляющим иметь на борту ОПА избыток технологического и научного оборудования. Поскольку установка и замена технологического и на-

учного оборудования возможна лишь при строительстве или ремонте ОПА в заводских условиях.

В значительной степени решение этой проблемы представляется возможным при условии создания модульной структуры технологического оборудования и используемых на ОПА океанологических измерительных приборов, входящих в состав манипуляционно-технологического комплекса. Такой подход известен и он использовался при создании модульной структуры океанологических измерительных комплексов [3]. Выбранное решение может быть взято за прототип с учётом того, что в указанном способе предложена и реализована структура построения информационно-измерительных комплексов, работающих в лабораторных условиях или с борта надводного судна.

Создание модульной структуры многофункционального манипуляционно-технологического оборудования ОПА решает задачу расширения технологических возможностей ОПА при проведении подводно-технических и научно-исследовательских работ. В перспективе такие ОПА можно рассматривать как глубоководные технические средства, обладающие необходимыми мореходными качествами, мощной энергетической установкой и большой автономностью.

Модульная структура манипуляционно-технологического комплекса предусматривает его развитие при расширении фронта исследовательских и подводно-технических задач, выполняемых с ОПА, и, как следствие, дополнение или замену его подсистем новыми приборами, механизмами и устройствами.

Кроме того, модульная структура комплекса предусматривает стандартизацию посадочных мест модулей, унификацию разъёмных соединений и источников питания всей системы [4].

Таблица. Перечень задач, решаемых с обитаемых подводных аппаратов, и используемое при этом оборудование, механизмы и приборы

№	Перечень задач исследования океана и выполнения подводно-технических работ с борта обитаемого подводного аппарата	Оборудование обитаемых подводных аппаратов							
		Манипулятор	Драга	АНПА	Пробоотборник	Телекамера	СТД-измеритель солёности, температуры, давления	Оптические каналы	Радиационные, химические каналы
1.	Исследования водной толщи и придонного пространства Мирового океана	*	*		*		*	*	
2.	Разведка и освоение минеральных и биологических ресурсов океана	*	*		*	*	*		
3.	Поиск, обнаружение и обозначение мест затонувших объектов	*				*		*	*
4.	Обследование затонувших или находящихся на грунте объектов и обеспечение работ по их подъему	*				*		*	*
5.	Разбор завалов и разрушение преград	*		*		*			
6.	Выполнение работ по установке, монтажу, демонтажу, обследованию и ремонту подводных сооружений	*		*		*			
7.	Разведка и разработка подводных месторождений нефти, газа и других полезных ископаемых	*	*	*		*	*		
8.	Монтаж и эксплуатация подводных буровых установок	*	*	*		*			
9.	Выполнение операций подводной сварки и резки объектов	*		*					
10.	Выполнение съемки рельефа дна					*		*	*
11.	Визуальный и технический контроль труднодоступных объектов и территорий	*		*		*			*
12.	Выполнение радиационной, химической и бактериологической разведки акваторий и объектов.	*	*	*					*
13.	Отбор проб воды, грунта и т.д.	*	*				*		*

Каждый элемент манипуляционно-технологического комплекса представляет собой унифицированный сменный модуль, массогабаритные характеристики которого должны быть минимальными. Бортовая аппаратура должна обеспечивать её погрузку через люк ОПА соответствующего диаметра.

Модульная структура манипуляционно-технологического комплекса ОПА включает в себя стандартизацию трёх типов:

- механический стандарт – посадочные (присоединительные) места модулей погружаемого устройства;
- логический стандарт – предусматривает унификацию разводки разъёмных соединений модулей погружаемого устройства;
- электрический стандарт – унифицирующий источники питания всей системы.

В структуру входят как погружаемая (забортная), так и бортовая части.

Основой многофункционального манипуляционно-технологического комплекса ОПА является штатный комплект приборов и оборудования, который используется практически при проведении всех работ. Вариант штатного оборудования ОПА включает в себя: штатный автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), манипулятор, пробоотборник, драга, акустический гидролокатор, телекамера и светильники.

Дополнительно многофункциональный манипуляционный комплекс может быть укомплектован сменным оборудованием: сварочным, механической резки металлов, монтажным инструментом, пробоотборниками придонной воды и ила, пробоотборниками биологических объектов. Этот перечень не является застывшей формой и по мере выполнения подводно-технических работ может быть изменён. Кроме того, в состав сменного оборудования входят также измерительные приборы (гидрохимических и гидрооптических параметров забортной воды, радиационные измерительные приборы и др.). При заме-

не или дополнении состава сменного оборудования новые приборы, устройства и механизмы должны быть спроектированы и изготовлены с учётом требований стандартизации используемых на ОПА приборов и оборудования.

Монтаж сменного оборудования и измерительных приборов, предназначенных для решения конкретных исследовательских и подводно-технических задач, осуществляется в экспедиционных условиях.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что приборы и оборудование, которыми оснащается ОПА, задействуются при выполнении научно-исследовательских и подводно-технических работ частично и, следовательно, могут быть сгруппированы в подсистемы, которые устанавливаются на ОПА перед выполнением определённой работы или класса однородных работ [5, 6]. При этом необходимо отметить, что манипулятор является основой манипуляционно-технологического комплекса. Он задействован при выполнении всех подводно-технических и научно-исследовательских работ с борта обитаемого подводного аппарата и позволяет привести подводный инструмент в положение, необходимое для выполнения операций.

Анализ известных на сегодняшний день конструкций манипуляторов в целом, и в том числе использующихся на ОПА, позволяет разделить их на две большие группы.

Во-первых, это манипуляторы с разомкнутой системой управления, т.е. в которых отсутствуют датчики обратной связи приводов исполнительного органа, а обратная связь осуществляется через человека-оператора. Простейшие из них – командные. В них исполнительные двигатели не регулируются по скорости, а скорость определяется нагрузкой. Такие системы позволяют выполнять только простые операции, не требующие высокой точности.

Во-вторых, это манипуляторы с замкнутой системой управления – следящие (копирующие) манипуляторы с управлением положения исполнительного органа, т.е. содержащие датчики обратной связи в исполнительных органах.

Все типы манипуляторов имеют общий классификационный параметр – степень подвижности, который идёт от сравнения исполнительного органа с рукой человека. Анализ имеющихся манипуляторов показывает, что 75-80% из них имеют степень подвижности не менее шести.

При создании манипуляторов разработчиками использовались различные приводы:

– ручной привод (не нуждающийся в дополнительных комментариях);

– пневматический привод (применяется для сравнительно медленных и мало-мощных исполнительных механизмов с линейным перемещением);

– гидравлический привод (гидравлические двигатели отличаются возможностью быстрого пуска и остановки, чем обеспечивают создание инструмента различной скорости, мощности, силы и крутящего момента);

– электрический привод (манипулятор с электроприводом надёжен, удобен, прост в обращении и очень эффективен, но опасен при коротких замыканиях в силовой сети).

Анализ имеющихся в мире ОПА даёт возможность убедиться в том, что свыше 80% аппаратов оснащены манипуляторами с гидроприводом. Это служит убедительным подтверждением эффективности гидропривода по сравнению с электро- и пневмоприводами. Гидропривод обеспечивает высокую энергонасыщенность, менее зависим от окружающего внешнего гидростатического давления, даёт возможность точного контроля усилий и моментов манипулятора [4, 5].

Приведённый анализ возможностей и назначения манипуляторов позволяет подтвердить сделанный ранее вывод, что манипулятор является основой манипуля-

ционно-технологического комплекса ОПА для задачи расширения технологических возможностей ОПА при проведении подводно-технических и научно-исследовательских работ.

Соглашаясь с приоритетом манипулятора перед всеми другими механизмами и приборами, входящими в структурную схему, нельзя не отметить роль, которую выполняет автономный необитаемый подводный аппарат. Для ОПА, позиционирующихся над объектом работ, АНПА является верным и безотказным механизмом, который может выполнить значительную часть подводно-технических работ. АНПА может осуществлять различные операции по осмотру труднодоступных объектов, монтажу приборов и сменного оборудования, необходимых в процессе выполнения работ. Его можно назвать глазами и руками оператора ОПА.

Опыт эксплуатации имеющихся в мире ОПА позволил выявить их достоинства и недостатки и сформулировать одну из первоочередных задач их усовершенствования – распределения функций между ОПА, манипулятором и специальным инструментом. За период развития ОПА и манипуляторов прослеживается немало тупиковых вариантов, заставляющих критично относиться к определению функций самих ОПА, манипуляторов и оборудования, способствующих рациональному способу выполнения технологических операций. При этом необходимо отметить, что на манипуляторы часто возлагались несвойственные им задачи и не проводился системный анализ технологических возможностей всего манипуляционно-технологического комплекса. Между тем, процесс создания манипуляционно-технологического комплекса должен начинаться с детальной проработки технологического цикла каждой операции с определением силовых затрат, скоростных и точностных характеристик всех используемых в данной операции механизмов и приборов. В результате такой проработки определяется диапазон параметров для обеспечения технологического цикла. Эти

сведения подлежат тщательному анализу, оценке и выявлению целесообразных и нецелесообразных циклов технологической последовательности для выполнения их манипуляционно-технологическим комплексом. Априорное определение силовых и кинематических возможностей манипуляционно-технологического комплекса без детальной проработки и критического анализа технической и экономической целесообразности приводило и приводит к порождению неработоспособных систем, органически не связанных с ОПА, его возможностями и функционированием. Результатом несистемного подхода, как правило, являлась неспособность ОПА выполнять сложные операции под водой. Следовательно, первейшим шагом в создании манипуляционно-технологического комплекса должен быть детальный анализ определённых к выполнению ОПА операций.

Далее следует декомпозиция операций с определением кинематических и силовых требований. Анализ этих требований позволяет выделить элементы операций по затратам энергии, необходимым для их выполнения манипулятором или другим штатным инструментом.

При этом генеральной должна быть концепция, что ОПА, оснащённый манипуляционно-технологическим комплексом, – это высокоорганизованная система, которая должна обеспечить выполнение данных операций или комплекса работ.

Попытки возложить на манипуляционно-технологический комплекс всю гамму операций (точных и силовых) неизбежно приводит к созданию неработоспособных, немобильных и негибких систем. Имея совершенный по кинематическим и динамическим характеристикам манипуляционно-технологический комплекс, получаем возможность построения гибкого цикла выполнения сколь угодно сложных и энергоёмких операций с привлечением специального инструмента, управление работой которого обеспечивается манипулятором. Изложенный подход и является вторым определяющим принципом по-

строения систем манипуляционно-технологического комплекса ОПА.

Именно таким путём строится любой технологический цикл в промышленности, где человек постоянно пользуется приспособлениями, превосходящими его силовые и точностные возможности.

Кинематические возможности манипулятора – размеры его звеньев, их число, число степеней свободы, скоростные характеристики – должны быть органически согласованы с возможностями ОПА.

Такой системный подход позволяет согласованно выполнить структурный синтез манипулятора с учётом характеристик ОПА, создать манипуляционно-технологический комплекс, гармонично объединённый с возможностями ОПА как носителя и как стабилизированной над объектом работ платформы, делающей возможным выполнение сложных подводных операций.

Для выполнения подводно-технических и научно-исследовательских работ авторами разработана структурная схема манипуляционно-технологического комплекса ОПА, приведённая на рисунке.

Созданная структурная схема является частью навигационной системы ОПА, который рассматривается как глубоководная подвижная платформа, обладающая необходимыми мореходными качествами, мощной энергетической установкой и большой автономностью.

Структурная схема с учётом приведённых в таблице материалов включает в себя бортовую часть (центральная вычислительная машина (1); блок обработки информации устройств манипуляционно-го комплекса АНПА и океанологические приборы, входящие в оборудование ОПА (2); центральный пульт управления (13), включающий пульт управления АНПА (4) и блок управления АНПА (7); пульт управления ОПА (5) и блок управления манипуляционно-технологическим комплексом ОПА (6)).

Забортная часть состоит из штатного оборудования ОПА (АНПА (8); манипулятора, пробоотборника, драги, телекаме-

ры, фотокамеры, светильников и акустического гидролокатора (9)), штатных измерительных приборов ОПА (измерительных каналов температуры, электрической проводимости и гидростатического давления забортной воды (СТД-измерительные каналы солёности, температуры и давления), измерительных каналов скорости и направления вектора скорости течения (10)) и сменного оборудо-

вания (сварочного, механической резки металлов, монтажного инструмента, пробоотборников придонной воды и ила, пробоотборника биологических объектов (11), сменных измерительных приборов гидрохимических, гидрооптических и радиационных параметров (12)).

Обмен информацией между забортной и бортовой частью осуществляется по локальной линии связи (3).

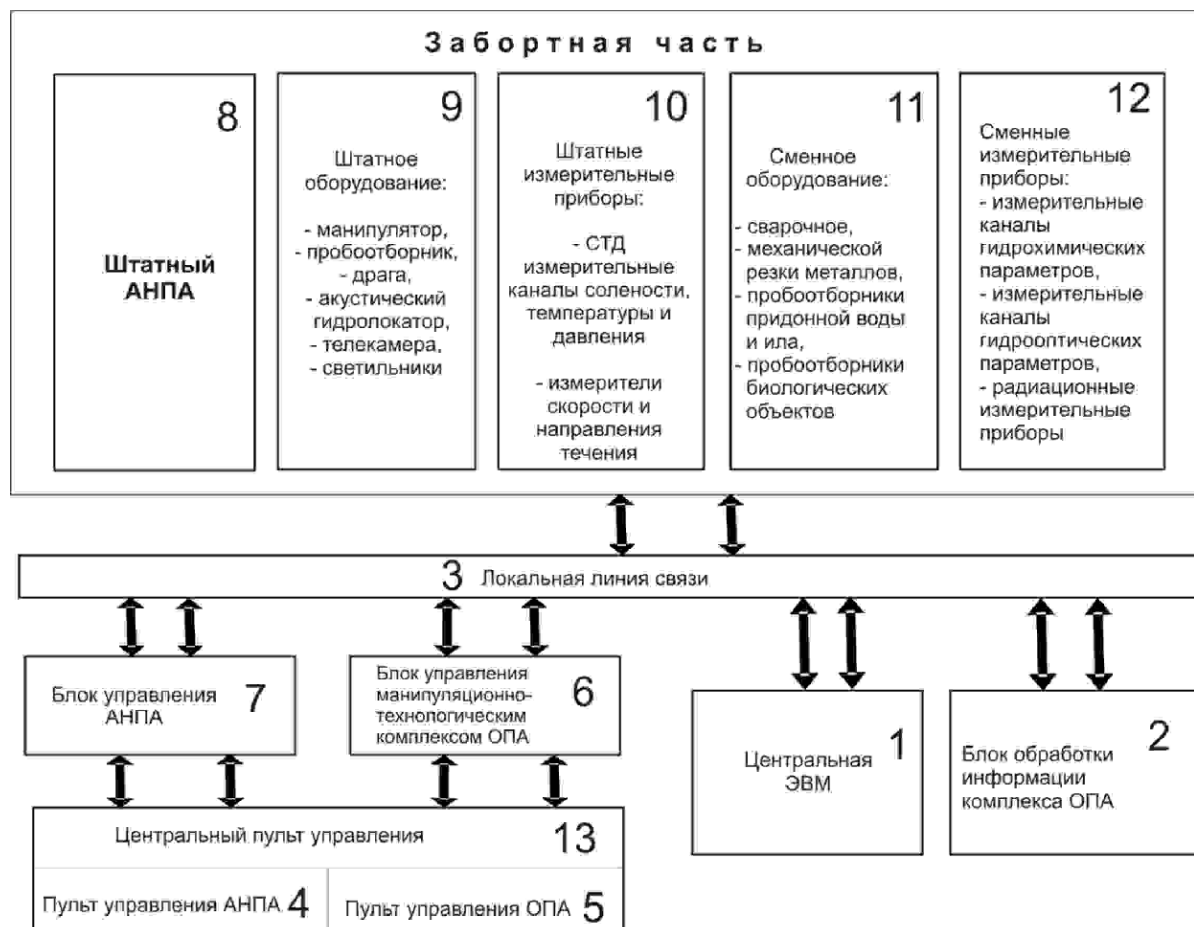


Рис. Структурная схема манипуляционно-технологического комплекса ОПА

Методика проведения подводно-технических работ ОПА, оснащённого манипуляционно-технологическим комплексом, заключается в том, что в районе нахождения объекта работ оператор ОПА выполняет рекогносцировочное погружение на аппарате, оснащённом штатным оборудованием и штатными измерительными приборами для детального определения характера и объёма работ, которые необходимо выполнить на данном объек-

те. Одновременно оператор ОПА определяет состав приборов и оборудования манипуляционно-технологического комплекса, который необходим для выполнения этих работ.

Обитаемый аппарат поднимается на борт судна-носителя ОПА, где непосредственно в экспедиционных условиях производится установка необходимых приборов и оборудования манипуляционно-технологического комплекса, позволяю-

щих выполнить полностью или частично объём подводно-технических работ на объекте. При этом может быть заменена часть штатного оборудования и установлено сменное оборудование. Операция по замене оборудования манипуляционно-технологического комплекса может быть проведена неоднократно по мере необходимости для выполнения всего объёма работ на объекте.

Все работы по изменению состава манипуляционно-технологического комплекса ОПА выполняются в экспедиционных условиях, что позволяет значительно сократить экспедиционное время и стоимость выполнения работ на объекте.

Библиографический список

1. Дмитриевский, А.Н. Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов российского шельфа [Текст] / А.Н. Дмитриевский, М.Д. Белонин // Природа-2004. № 9. – С. 3-10.

2. Океанология: средства и методы океанологических исследований [Текст] / Г.В. Смирнов, В.Н. Еремеев, М.Д. Агеев [и др.] - М.: Наука. 2005. - 795 с.

3. А.С. №1163272 СССР, МКИ³ 001P5/00 Комплекс автономных измерителей течений [Текст] / Г.В. Смирнов, В.М. Кушнир, А.Б. Шадрин [и др.] // - Бюл.№ 23. 23.06.1985.-7 с.

4. Пат. 2399552 Российская Федерация, МПК В 63 G8/00 (2006.01) Способ производства подводных работ и обитаемый подводный комплекс для его осуществления [Текст] / Г.В. Смирнов, А.И. Фендриков.- Бюл. № 26. 20.09.2010. – 2 с.

5. Ястребов, В.С. Методы и технические средства океанологии [Текст] / В.С. Ястребов – Л.: Гидрометеиздат. 1986. – 271 с.

6. Хекмен, Д. Подводный инструмент [перевод с англ.] [Текст] / Д. Хекмен, Д. Коди; – Л.: Судостроение. 1985. – 128 с.

MANIPULATION TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR MANNED SUBMERSIBLES

© 2012 A. V. Alekseev, A. L. Olenin, G. V. Smirnov, A. N. Fendrikov

Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences

The need for combining technological and research equipment of modern manned submersibles in the all-in-one complex with a module structure is shown in the paper. The peculiarities of assembling, exploitation and future development are discussed.

Manned submersible, manipulation, technological complex.

Информация об авторах

Алексеев Аркадий Владимирович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН. E-mail: avaleks@presidium.ras.ru. Область научных интересов: деформметрия подстилающей поверхности береговой зоны, процессы поступления терригенной взвеси в морской бассейн.

Оленин Антон Леонидович, ведущий инженер, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН. E-mail: gvsmirnov@ocean.ru. Область научных интересов: разработка и создание гидролого-опто-химических комплексов для глубоководных исследований.

Смирнов Геннадий Васильевич, академик, доктор технических наук, заведующий лабораторией методологии и технических средств океанологических исследований, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН. E-mail: gvsmirnov@ocean.ru. Область научных интересов: океанологическое приборостроение, экспериментальная океанология, автоматизация океанологических исследований.

Фендриков Александр Николаевич, соискатель учёной степени, пилот (оператор) обитаемых подводных аппаратов, лаборатория методологии и технических средств океанологических исследований, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН. E-mail: gvsmirnov@ocean.ru. Область научных интересов: подводные обитаемые аппараты, разработка и создание систем динамического позиционирования ПОА, манипуляционно-технологические комплексы.

Alekseev Arkady Vladimirovich, doctor of physics and mathematics, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov, Russian Academy of Sciences. E-mail: avaleks@presidium.ras.ru. Area of research: measuring the deformation of the underlying surface of the coastal zone, processes of terrigene suspension admission into the sea basin.

Olenin Anton Leonidovich, leading engineer, laboratory of methodology and hardware for oceanological research, Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov, Russian Academy of Sciences. E-mail: gysmirnov@ocean.ru. Area of research: development and construction of hydrologooptochemical complexes for deep-water research.

Smirnov Gennady Vasilievich, doctor of engineering, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, head of the laboratory of methodology and hardware for oceanological research, Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov, Russian Academy of Sciences. E-mail: gysmirnov@ocean.ru. Area of research: oceanological instrument engineering, experimental oceanology, automatization of oceanological research.

Fendrikov Alexander Nikolaevich, postgraduate student of the laboratory of methodology and hardware for oceanological research, Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov, Russian Academy of Sciences. E-mail: gysmirnov@ocean.ru. Area of research: manned submersibles, development and designing of MS dynamic positioning systems, manipulation technological complexes.