

## ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА НАД ОБЪЕКТОМ РАБОТ

© 2011 А. В. Алексеев, А. Л. Оленин, Г. В. Смирнов, А. Н. Фендриков

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

Рассмотрена возможность создания системы динамического позиционирования обитаемых подводных аппаратов над объектом работ, являющейся составной частью навигационной системы обитаемого подводного аппарата.

*Обитаемые подводные аппараты, система динамического позиционирования.*

### Введение

В последние десятилетия в океанологии существенно изменилась система сбора экспериментальных данных об изменчивости параметров гидрофизических полей в океане. Если раньше основным средством сбора экспериментальных данных было научно-исследовательское судно, то в настоящее время появились принципиально новые средства и методы проведения исследований в океане, сформировавшие многокомпонентную информационную систему. Такая система включает в себя научно-исследовательские суда с их развитым современным научным оборудованием; автономные буйковые станции; дрейфтерные буйковые станции; донные станции и подводные обсерватории; дистанционные измерительные приборы, устанавливаемые на самолетах и спутниках; обитаемые и необитаемые подводные аппараты. При этом следует отметить, что создание последних ознаменовало появление принципиально новых средств изучения океана [1,2].

Обитаемые подводные аппараты (ОПА) позволили решить сложнейшую задачу экспериментальной океанологии – приближение исследователя к объекту наблюдения. Актуальность решения этой проблемы в том, что даже самая совершенная аппаратура не позволяет проводить непосредственное наблюдение различных явлений и объектов на расстоянии нескольких километров. Создание подводных обитаемых аппаратов было на-

столько привлекательно и убедительно, что в 60 – 80 годы прошлого века мир переживал «океанический бум». За пятнадцать лет с 1960 по 1975 годы в мире было построено более 100 подводных обитаемых аппаратов. Наибольшее количество подводных аппаратов построено в США, Франции, Японии и СССР (России). Наиболее удачными глубоководными обитаемыми аппаратами (ГОА), построенными в США, являются: «Элвин», «Си Клифф», «Тертл», «Джонсон Си Линк» и ряд других. В Советском Союзе в начале 80-х годов в конструкторском бюро Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН был построен и сдан в эксплуатацию ОПА «Аргус» с глубиной погружения 600 метров. Из реализованных в России проектов следует отметить подводный аппарат «Оса», который был предназначен для работ на глубинах до 600 метров и оснащён движительным комплексом, обеспечивающим управляемость по всем шести координатам в пространстве. В принципе, это можно считать первым опытом создания системы динамического позиционирования ОПА над выбранным объектом работ.

В последнее десятилетие в нашей стране введены в строй два глубоководных ОПА «Русь» и «Консул», которые по своим техническим характеристикам соответствуют и даже опережают зарубежные и ранее построенные отечественные аналоги.

Наиболее полные и интересные результаты исследуемых явлений в придонном слое океана, принципиально отличающиеся от существующих в настоящее время представлений, были получены при исследовании гидротермальных полей океана глубоководными ОПА «Мир-1» и «Мир-2». Именно результаты многолетних исследований природных явлений на дне океана показали, что глубоководные ОПА являются наиболее эффективным средством для экспериментальных подводных исследований.

Опыт эксплуатации имеющихся в мире ОПА позволил выявить их достоинства и недостатки. На основе этого опыта сегодня сформулированы направления дальнейшего развития ОПА, которые в существенной степени определяются достижениями науки, техники и современных технологий в следующих областях знаний: системы энергообеспечения; материалы и конструкции; системы навигации; вычислительные средства и радиоэлектроника; манипуляционно-технологическое оборудование; средства освещения внешней (забортной) обстановки ОПА; динамическое позиционирование ОПА над объектом работ.

По системам энергообеспечения можно отметить, что к настоящему времени на ОПА предпочтительно использовать никель-кадмиевые аккумуляторы. Перспективными для новых проектов и строительства ОПА являются радиоизотопные источники энергии и ядерные энергетические установки.

### **Материалы и конструкции ОПА**

Традиционными конструкционными материалами на ближайшие 20 лет останутся сложнелегированные сплавы, высокопрочные стали, титановые и алюминиевые сплавы для производства прочных корпусов ОПА. В перспективе возможно применение композиционных конструктивных материалов на основе терморезистивных и термопластичных связующих.

Системы навигации современных обитаемых подводных аппаратов вклю-

чают в себя средства автономной (бортовой), гидроакустической и спутниковой навигации. Все эти направления активно развиваются и достаточно полно представлены в работах [3,4].

Актуальными остаются проблемы оснащения ОПА манипуляционно-технологическим оборудованием, средствами освещения подводной (забортной) обстановки и динамического позиционирования аппаратов над объектом работ. Первые две проблемы частично рассматривались в работах [5,6].

В предлагаемой работе рассматривается один из возможных вариантов создания системы динамического позиционирования обитаемого подводного аппарата над объектом работ.

### **Необходимость динамического позиционирования ОПА**

Динамическое позиционирование надводных судов и их стабилизация в заданной точке пространства широко используется на научно-исследовательских судах, буровых и судоподъемных платформах. Накоплен богатейший опыт в создании систем динамического позиционирования над объектом работ надводных судов, позволяющий превращать надводное судно или буровое судно в неподвижную платформу над объектом работ.

Механически перенести опыт динамического позиционирования надводных судов на ОПА с заданными координатами в пространстве не представляется возможным по следующим причинам.

ОПА является свободноплавающим объектом с шестью степенями свободы – три линейных перемещения и три вращения относительно осей пространственной системы координат. Все пространственные эволюции ОПА в водной среде могут быть сведены к двум основным режимам движения – глобальному перемещению от исходной позиции к объекту и локальному маневрированию над объектом. Если в первом режиме преобладают поступательные и сравнительно прямолинейные перемещения, то во втором предпочти-

тельных перемещений не существует. По всем шести координатам ОПА перемещается равноправно и не существует преимуществ какой-либо координаты.

ОПА как свободно плавающее тело воспринимает многочисленные силовые возмущения со стороны среды и работающего оборудования. Поскольку вектор возмущений сложно предсказуем, то ручным управлением удерживать ОПА, даже с совершенным движительным комплексом, практически невозможно. Необходима система динамического позиционирования ОПА над объектом работ, ибо без неё подводные аппараты становятся наблюдательными камерами с крайне ограниченными возможностями выполнения работ с использованием манипуляторов или других устройств и инструментов.

#### **Предпосылки к решению задачи динамического позиционирования**

Для решения задачи динамического позиционирования ОПА необходимо выполнить ряд требований, связанных с фундаментальными понятиями современной теории управления – устойчивость и управляемость по всем шести степеням свободы ОПА в пространстве. Устойчивость – свойство многомерной системы возвращаться в исходное состояние после вывода её из этого состояния и последующего прекращения воздействия внешнего возмущения. Управляемость – возможность перевода системы из одного состояния в другое путём приложения некоторого управляющего воздействия.

Из сказанного следует вывод, что система динамического позиционирования многомерного объекта управления (ОПА) по каждой степени свободы в пространстве должна обеспечивать устойчивость и управляемость.

Сформулированные требования могут быть выполнены при условии правильного выбора и распределения динамических характеристик движителей движительного комплекса. Быстродействие движителей становится основой реализации требуемого быстродействия ОПА

по каждой координате. При этом необходимо учитывать, что гидродинамические характеристики ОПА по каждой координате различны, что особенно важно при анализе динамических характеристик движителей.

ОПА как объект, положение которого в пространстве определяется шестью степенями свободы, должен иметь для формирования пространственного вектора суммарного упора не менее шести движителей. Последние должны располагаться таким образом, чтобы обеспечить формирование суммарного вектора упора в полной сфере пространства. Однако из-за ряда функциональных и конструктивных причин сложно расположить шесть движителей на ОПА так, чтобы они контролировали любые перемещения аппарата в пространстве. На самом деле для решения этой задачи требуется большее количество движителей, что и определяет необходимую избыточность движительного комплекса. Кроме того, необходимо учесть, что помимо контроля перемещения ОПА существует требование по быстродействию всего движительного комплекса.

Система динамического позиционирования ОПА должна обеспечить его практическую неподвижность над объектом работ при воздействии на него внешних возмущений (течений, волновых процессов, сил, формируемых в ходе работы манипуляторов, различных приборов и механизмов, используемых при выполнении работ). Адаптация движительного комплекса ОПА к внешним воздействиям возможна при условии, что его подсистемы обладают определённой избыточностью. Высокая степень избыточности позволяет обеспечить создание высокой «жизнеспособности», универсальности и качественного функционирования системы динамического позиционирования ОПА над объектом работ.

Существенным ограничением избыточности подсистем являются технические возможности их реализации и экономической целесообразности. Процесс выбора избыточности по системам дол-

жен быть компромиссным, учитывающим сферу функционирования, среду обитания, надёжность и безопасность жизни ОПА как технической системы. Выбору достаточной степени избыточности необходимо уделить специальное внимание, выработав некоторый логистический подход.

В работе [7] был предложен обобщённый подход к выбору структуры движительного комплекса подводного аппарата в виде выпуклых правильных многогранников: тетраэдр, куб, октаэдр, додекаэдр и т.д.

Варианты таких структур движительного комплекса приведены на рис.1. В вершинах многогранников размещаются

двигатели. При этом подходе любой подводный аппарат в зависимости от числа и расположения движителей может быть представлен соответствующей объемной фигурой, что упрощает аналитические операции с движительным комплексом. При рассмотрении степени избыточности движительного комплекса следует учитывать, что избыточность может быть увеличена как количеством движителей, так и числом степеней их свободы. Если создаваемый движителем вектор упора может изменять его направление, то это увеличит степень избыточности движительного комплекса без увеличения числа движителей [7].

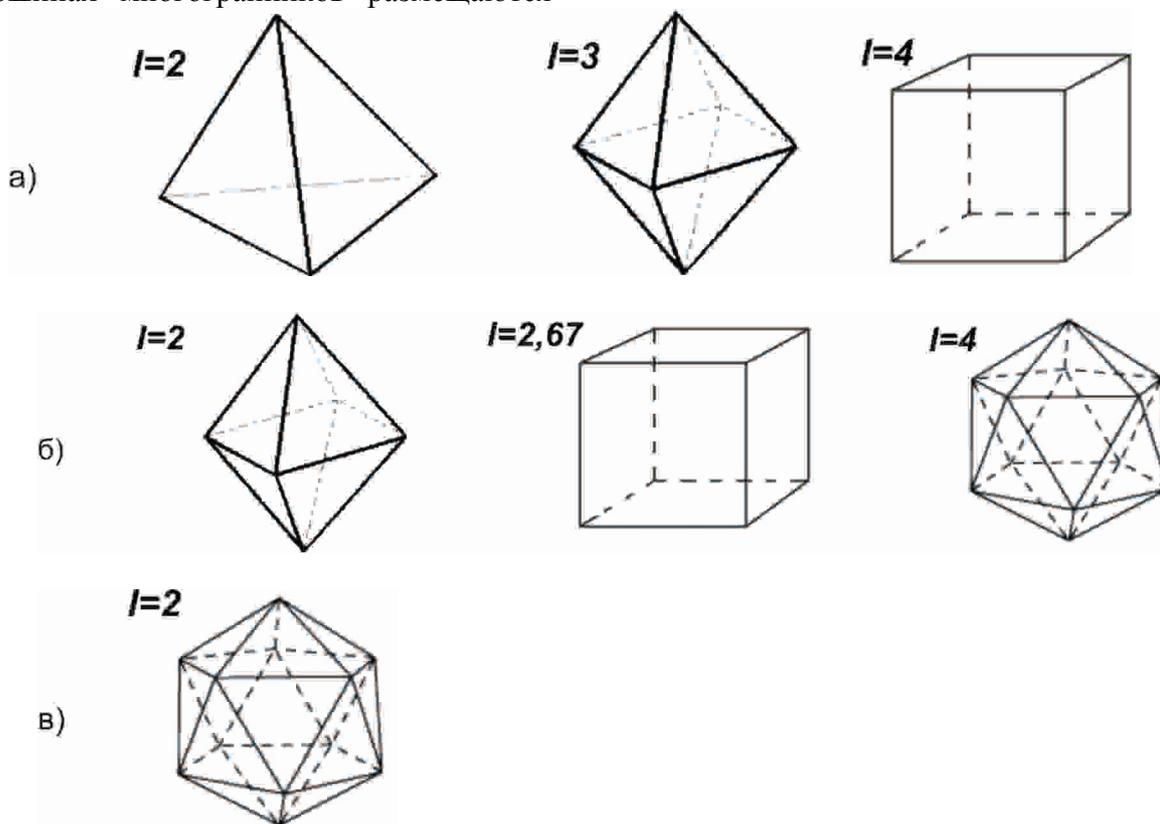


Рис.1. Варианты структур движительного комплекса  
( $I$  – избыточность движительного комплекса):  
а) движители поворотные в двух плоскостях;  
б) движители поворотные в одной плоскости;  
в) неподвижные движители

Кроме того, для возможности выявления и анализа роли каждого из движителей, контроля его влияния и степени участия в формировании результирующего вектора упора целесообразно ввести базовую и дополнительные системы координат. Базовая система координат своим началом совмещается с центром тяжести ОПА, а дополнительные системы координат помещаются началом в точке приложения вектора упора каждого движителя, что позволяет выделить каждый движитель и создаваемый им упор как по модулю, так и по направлению. Математическая модель такой движительной системы позволяет сформировать управление упором каждого движителя и дать возможность решить задачу адаптации системы к изменяющимся условиям.

На рис. 1 представлены варианты движительных комплексов и приведены значения коэффициентов избыточности для каждого варианта. Предложенный метод выбора структуры движительного комплекса с размещением движителей в вершинах выбранных многогранников позволяет обеспечить нормальное функционирование системы динамического позиционирования ОПА за счёт выбора оптимального значения избыточности движительного комплекса.

### **Система динамического позиционирования ОПА**

Создание системы динамического позиционирования ОПА над объектом работ обусловлено необходимостью решения следующих задач:

- расширение фронта работ, которые могут быть выполнены с борта ОПА,
- сокращение времени, необходимого для выполнения работ,
- повышение безопасности проведения работ за счёт динамического позиционирования ОПА, т.е. придания ему на время выполнения работ качества неподвижной платформы в условиях воздействия на него внешних возмущений, вызванных природными явлениями или ра-

ботой манипуляционно-технологического комплекса [2, 8].

Для реализации поставленных задач авторами разработана система динамического позиционирования ОПА над объектом работ, являющаяся составной частью навигационной системы ОПА. На рис. 2 приведена её структурная схема. Из средств обеспечения динамического позиционирования ОПА над объектом работ, входящих в систему, скомпонованы две подсистемы – подсистема контроля положения ОПА в пространстве над объектом работ по акустическим маякам и движительная подсистема.

Далее мы рассмотрим реальную структурную схему октаэдрического типа для динамического позиционирования ОПА над объектом работ. На проектирование такой схемы было разработано техническое задание. Информация о составе и конструкции подсистемы контроля положения подводного аппарата над объектом работ по акустическим маякам, вариант построения и компоновки элементов движительной подсистемы приведены в качестве примера решения этой задачи.

Подсистема контроля положения ОПА над объектом работ является частью навигационной системы ОПА и включает в себя акустические маяки (1.1, 1.2, ..., 1.n), которые предварительно устанавливаются в районе работ. Блок предварительной обработки информации анализирует отклонение обитаемого подводного аппарата от заданного оператором положения над объектом работ.

Движительная подсистема включает в себя шесть винтовых движителей (2.1, 2.3, ..., 2.6), расположенных в вершинах октаэдра, и двенадцать подруливающих движителей (3.1, 3.2, ..., 3.n), построенных на принципе, позволяющем использовать морскую среду, в которой движется судно как рабочее тело [9]. В выбранных подруливающих движителях отсутствует механическая ступень в передаче энергии движителя окружающей среде (винт судна), они имеют максимальное согласование параметров источника энергии (элек-

трического) с нагрузочными характери- стиками устройств потребления (приво-

да), органично встраиваются в движи- тельную подсистему ОПА.

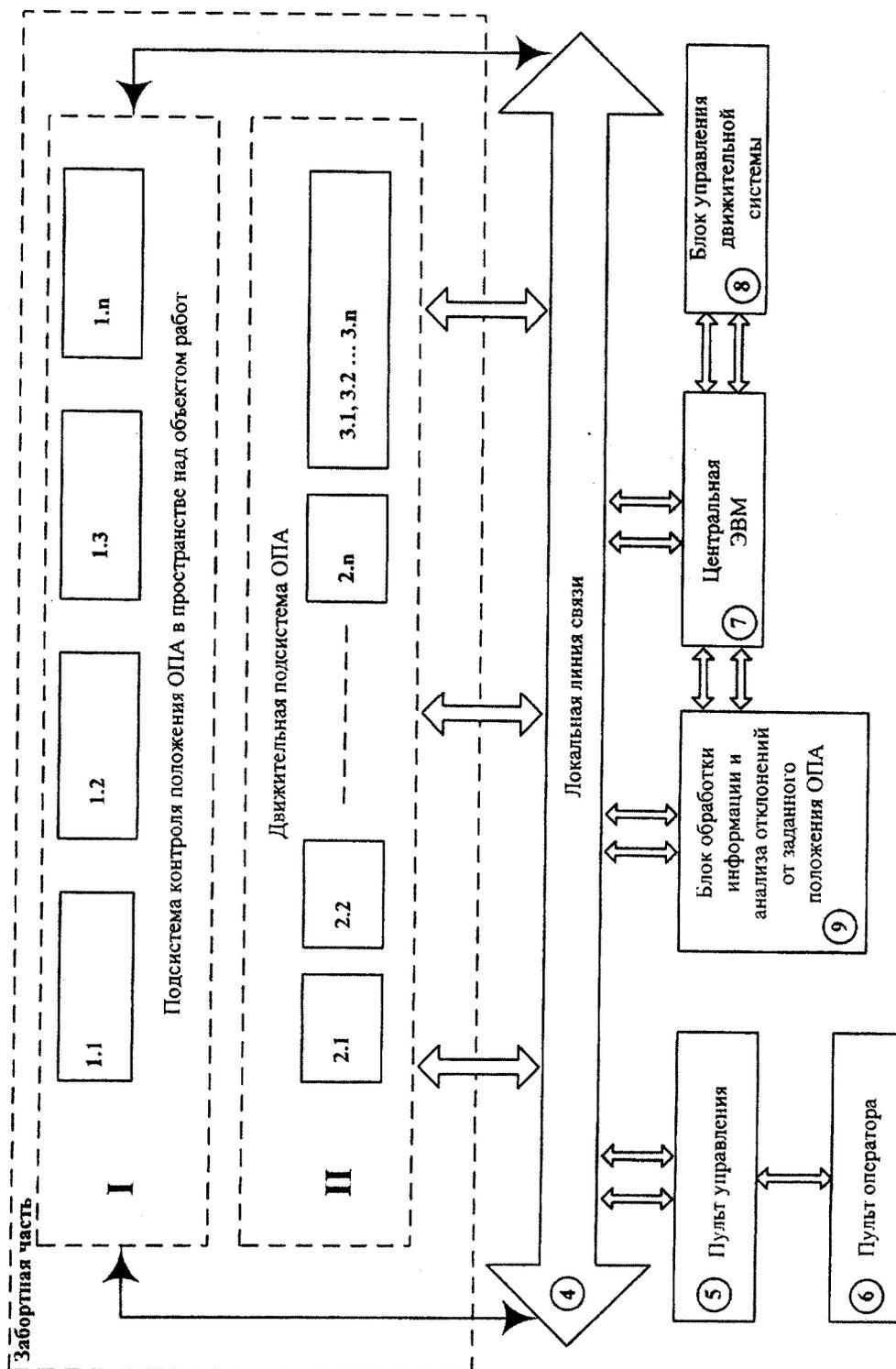


Рис.2. Структурная схема системы динамического позиционирования ОПА

Подруливающие движители распо- лагаются попарно в непосредственной

близости с каждым винтовым движителем с двух сторон в одной плоскости, положе-

ние которой определяется при швартовых испытаниях ОПА в начале работ или после переоборудования подводного аппарата, изменившего его внешнюю конфигурацию. Подруливающие движители осуществляют корректировку направления вектора упора винтового движителя.

Основным элементом системы динамического позиционирования ОПА является центральная ЭВМ (7), обеспечивающая вывод информации блока предварительной обработки. Блок предварительной обработки анализирует отклонение подводного аппарата от заданного оператором положения над объектом работ (9) и передаёт соответствующую информацию на пульт управления всей системой (5) и на пульт оператора (6). По команде оператора через локальную линию связи (4) подаётся соответствующая информация о принятом решении в блок управления движительной подсистемой (8), обеспечивающей динамическое позиционирование, т.е. удержание ОПА в состоянии неподвижной платформы в заданном оператором положении над объектом работ. Работы проводятся в районе, предварительно оборудованном акустическими маяками.

Созданная система динамического позиционирования ОПА над объектом работ позволяет обеспечить требуемое быстродействие для отработки возникающих сигналов рассогласования – отклонений от заданного положения, т.е. адаптации движительного комплекса ОПА к возмущающим воздействиям внешней среды, манипуляционно-технологического комплекса и другого судового оборудования.

Методика проведения подводно-технических работ ОПА, оснащённого системой динамического позиционирования, заключается в следующем:

- в районе нахождения объекта работ оператор ОПА выполняет съёмку рельефа дна,
- расставляет акустические маяки,
- устанавливает ОПА в положение, удобное для производства работ,

- даёт команду системе динамического позиционирования запомнить положение ОПА по отношению к маякам и осуществлять удержание ОПА в заданном положении при внешних воздействиях, вызванных природными явлениями или работой устройств манипуляционно-технологического комплекса.

### Библиографический список

1. Смирнов, Г.В. Океанология: средства и методы океанологических исследований [Текст]/ Г.В. Смирнов, В.Н. Еремеев, М.Д. Агеев, Г.К. Коротаев, В.С. Ястребов, С.В. Мотыжев; Междунар. ассоц. акад. наук ; Нац. акад. наук Украины. - М.: Наука, 2005, - 795 с. - ISBN 5-02-033669-6 (в пер.).

2. Пат. 2399552 Российская Федерация, МПК В 63 G 8/00 (2006.01). Способ производства подводных работ и обитаемый подводный комплекс для его осуществления [Текст]/ Смирнов Г.В., Фендриков А.Н.; заявители и патентообладатели Смирнов Г.В., Фендриков А.Н. -№ 2008131991/11; заявл. 01.08.2008; опубл. 20.09.2010, Бюл.№ 26.-2 с.

3. Парамонов, А.А. Гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой для глубоководного буксируемого комплекса «Мезоскан» [Текст]/ А.А. Парамонов, Н.А. Римский-Корсаков, В.А. Сычев // материалы VIII международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» / М.: ИО им. П. П. Ширшова РАН, 2003. - Ч.П. - С.231-237.

4. Парамонов, А.А. Особенности использования ГАНС УКБ при позиционировании буксируемых аппаратов [Текст] / А.А. Парамонов, В.А. Сычев // материалы VIII международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» / М.: ИО им. П. П. Ширшова РАН, 2003. - Ч.П. - С.238-242.

5. Фендриков, А.Н. Манипуляторы обитаемого подводного аппарата [Текст] / А.Н. Фендриков // материалы VIII между-

народной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» / М.: ИО им. П. П. Ширшова РАН, 2003. - Ч.П. – С.110-123.

6. Беленький, В.Н. Средства подводного наблюдения обитаемых глубоководных аппаратов [Текст] / В.Н. Беленький // материалы VIII международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» / М.: ИО им. П. П. Ширшова РАН, 2003. - Ч.П. -С. 57-67.

7. Ястребов, В.С. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований [Текст] :Справочник / Ястребов В.С., Соколов Г.П., Смирнов А.В. и др.; под общ.ред. В.С. Ястребова. - Л.: Судостроение, 1981. - 304 с: ил.

8. Пат. 2394720 Российская Федерация, МПК В 63 G 8/00 (2006.01), В 63 С

11/42 (2006.01). Способ динамического позиционирования обитаемого подводного аппарата над объектом работ [Текст] / Смирнов Г.В., Фендриков А.Н.; заявители Смирнов Г.В., Фендриков А.Н., патентообладатель Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. - № 2008115669/11; заявл. 21.04.2008; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20. - 7 с.: ил.

9. Пат. 2271302 Российская Федерация, МПК В 63 Н 19/00 (2006.01). Способ перемещения тела в морской воде и устройство для его реализации [Текст] / Дозоров Т.А., Смирнов Г.В. ; заявители и патентообладатели Дозоров Т.А., Смирнов Г.В. - №2004128625/11; заявл. 27.09.2004; опубл. 10.03.2006, Бюл. №7.-5 с.: ил.

## DYNAMIC POSITIONING OF A MANNED SUBMERSIBLE OVER THE SERVICE OBJECT

© 2011 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 paper deals with the possibility of producing a dynamic positioning system for manned submersibles over the service object. The dynamic positioning system is a part of the navigation system for a manned submersible.

*Manned submersible, dynamic positioning system.*

### Информация об авторах

**Алексеев Аркадий Владимирович**, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИО РАН. Область научных интересов: дистанционные методы исследований верхнего слоя океана и прилегающей атмосферы, деформометрия подстилающей поверхности в береговой зоне, процессы поступления терригенной составляющей взвеси в морской бассейн; региональные ресурсы и проблемы международного сотрудничества. E-mail: [avaleks@presidium.ras.ru](mailto:avaleks@presidium.ras.ru).

**Оленин Антон Леонидович**, ведущий инженер ИО РАН. Область научных интересов: разработка и создание гидролого-опто-химических комплексов для глубоководных исследований.

**Смирнов Геннадий Васильевич**, академик, д.т.н., заведующий лаборатории методологии и технических средств океанологических исследований ИО РАН. Область научных интересов: проектирование и создание систем океанологических измерительных комплексов, построенных по модульному агрегатированному принципу; разработ-

ка и создание зондирующих, буксируемых, автономных и специальных информационно-измерительных комплексов и приборов; проблемы автоматизации сбора и обработки экспериментальных данных для всего спектра пространственно-временной изменчивости параметров физических полей океана. E-mail: [gvsimironov@ocean.ru](mailto:gvsimironov@ocean.ru).

**Фендриков Александр Николаевич**, соискатель ИО РАН. Область научных интересов: подводные обитаемые аппараты, разработка и создание систем динамического позиционирования ПДА, манипуляционно-технологические комплексы.

**Alekseev Arkady Vladimirovitch**, doctor of physical and mathematical sciences, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief scientist, Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences, [avaleks@presidium.ras.ru](mailto:avaleks@presidium.ras.ru). Area of research: remote methods of investigating the upper layer of the ocean and the adjoining atmosphere, measuring deformation of the underlying surface in the shore area, processes of entering the terrigenous suspension into the sea basin; regional resources and problems of international cooperation.

**Olenin Anton Leonidovitch**, leading engineer, laboratory of methodology and hardware for oceanological researches, Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences, [gvsimironov@ocean.ru](mailto:gvsimironov@ocean.ru). Area of research: development and construction of hydrology-opto-chemical complexes for deep-water investigations.

**Smirnov Gennady Vasilyevitch**, doctor of technical sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, head of the laboratory of methodology and hardware for oceanological researches, Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences, [gvsimironov@ocean.ru](mailto:gvsimironov@ocean.ru). Area of research: design and construction of systems of oceanological measuring complexes based on the module aggregate principle; design and construction of sounding, tugged, autonomous and special data measuring complexes and devices; problems of automation of collecting and processing experimental data for the whole range of spatial and temporal variability of the ocean physical field parameters.

**Fendrikov Alexander Nikolaevitch**, post-graduate student, laboratory of methodology and hardware for oceanological researches, Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences, [gvsimironov@ocean.ru](mailto:gvsimironov@ocean.ru). Area of research: manned submersible apparatuses, development and construction of systems for their dynamic positioning, manipulation technological complexes.