

## **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

# СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАБОТ ИПМТ ДВО РАН ПО СОЗДАНИЮ ПОДВОДНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

**Л.А. Наумов, Ю.В. Матвиенко**

Институт проблем морских технологий ДВО РАН  
690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (423) 2432416,  
e-mail: ymat@marine.febras.ru

В докладе сообщается об основных направлениях работы и результатах в области подводной робототехники, полученных Институтом проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук за последние пять лет.

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время ИПМТ ДВО РАН – один из основных разработчиков средств подводной робототехники в Российской Федерации. Опыт, накопленный институтом за почти сорок лет активной работы, реализуется в виде ряда выполняемых проектов по созданию подводных робототехнических носителей различного назначения, специальных работ по созданию наиболее важных систем подводных роботов, обеспечивающих их движение, управление, навигацию, энергетику. Большое внимание уделяется разработке поисковых, обзорных и измерительных средств, а также технологий управления и методик выполнения реальных работ с использованием подводных роботов.

За последние несколько лет было создано около десятка экспериментальных, опытных и серийных образцов автономных, телеуправляемых и буксируемых аппаратов, способных работать на больших глубинах, а автономных – вплоть до предельных (6000 м) глубин океана. Созданные робототехнические комплексы многократно использовались при выполнении поисково-обследовательских работ, при геологической разведке морских минеральных ресурсов, в научных исследованиях по гидроакустике, экологии, морской биологии. Значительная часть этих работ выполнена при сотрудничестве с ведущими в стране организациями в области морских технологий и по решениям правительства. Ряд проектов выполнен на основе сотрудничества с организациями США, Франции, КНР, Южной Кореи.

Основные усилия были направлены на создание и совершенствование автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Востребованность АНПА на рынке подводных технических работ обеспечивается их ключевыми достоинствами, среди которых следует отметить:

- отсутствие рисков, связанных с пребыванием человека под водой;
- широкий диапазон глубин;
- интеллектуальность поведения;
- высокая автономность выполнения миссии;
- точная навигация;
- постоянное самодиагностирование и система аварийного прекращения миссии;
- высокий уровень маневренности;
- наличие различной поисковой и измерительной аппаратуры;
- возможность развертывания с различных носителей;
- интерактивное сервисное обслуживание АНПА.

Широким является и спектр выполняемых работ, включающий:

- обзорно-поисковые работы, включая поиск и обследование затонувших объектов, инспекцию подводных сооружений и коммуникаций (трубопроводов, водоводов, кабелей);

- геологоразведочные работы, включающие топографическую и фото-видеосъемку морского дна, акустическое профилирование и картографирование рельефа;
- океанографические исследования, мониторинг водной среды;
- работы специального назначения, включающие, в частности обследование опасных объектов;
- в составе военно-морских сил.

## **2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА**

В настоящее время Институт выполняет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по научному направлению «Исследование и разработка необитаемых подводных робототехнических систем и комплексов», в котором развивается следующая тематика:

**2.1. Исследовательское проектирование** и обоснование конструктивных обликов необитаемых автономных и телеуправляемых подводных аппаратов.

Содержит работы по системам энергообеспечения, движительно-рулевым комплексам, проектированию прочных корпусов, исследованию гидродинамических характеристик. Архитектура и общий состав базовых систем реализуются на основе модульной технологии и структуры управления с процессорными элементами, разработки преемственного ряда унифицированных конструктивных узлов (модулей), на базе которых могут создаваться различные конфигурации систем и необитаемых подводных аппаратов.

Системы управления и навигации формируются с использованием многозадачной структуры системы управления движением, осуществляющей функции формирования программ-заданий и планирования поведения, отображения информации о среде и векторе состояния, оценки ситуации и организации пространственных траекторий для различных режимов управления. Управление движением НПА и ориентирование в пространстве – с использованием систем управления автономных НПА на основе распределенной вычислительной сети с многозадачным планированием миссий аппарата.

Создание систем анализа и отображения информации о рельефе и объектах на дне и в верхнем слое донного грунта основаны на применении электромагнитных, оптических и гидроакустических средств, компьютерных средств для обработки, накопления и представления данных, освещения подводной обстановки и мониторинга.

Реализация прецизионной комплексированной навигационной системы на основе совместной обработки информации системы технического зрения, бортовой автономной и гидроакустической систем, спутниковой навигационной системы (GPS и ГЛОНАСС).

На основе предложенных технологий созданы необитаемые подводные аппараты различного назначения.

**2.2. Исследования методов построения автономных бортовых систем управления и навигации** подводных роботов в сложных и экстремальных условиях среды.

Разработка современных технологий управления роботами с применением архитектур визуального объектно-ориентированного программирования, моделей и баз данных для планирования и осуществления интеллектуальных динамических миссий подводных роботов, создания динамических моделей выбора маршрута в малоизвестной среде с использованием методов нечеткой логики и вероятностных прогнозов о подводной ситуации и состоянии систем АНПА. Разработка математических и вычислительных моделей функционирования АНПА в сложной среде с учетом накапливаемых данных о подводной обстановке и состоянии аппарата. Разработка и реализация алгоритмов и программ управления движением:

- при целенаправленном движении в заданный район с учетом изменчивости подводной обстановки,

- при наведении и динамическом позиционировании вблизи заданной подвижной цели движения,
- при обследовании природных и искусственных объектов и физических полей.

Интеллектуальная системная архитектура автономного робота, действующего в условиях информационно неопределенной среды, реализована на основе модели виртуального представления знаний о внешней среде с использованием технологий интегральной обработки информации систем технического зрения, навигационного комплекса и средств адаптивного управления движением с автономной и дистанционной коррекцией программ-заданий

### **2.3. Исследования в области создания гидроакустических средств навигации, управления, контроля и связи.**

Применение сложных сигналов в гидроакустических системах навигации и управления подводных роботов. Разработка и исследование методов и средств регистрации сложных гидроакустических сигналов в режиме реального времени. Разработка и исследование новых методов и технологий цифровой обработки и передачи сигналов подводных изображений по гидроакустическому каналу связи

Разработка гидроакустической навигационной системы подводного робота без применения стационарных опорных маяков для непрерывного навигационного сопровождения АНПА с большой дальностью действия. Комплексная обработка всех навигационных данных, имеющих как на борту подводного робота, так и судна носителя, при обмене информацией между ними по гидроакустическому каналу связи.

Разработка системы высокоточного локального позиционирования, использующая данные бортовой цифровой фотосистемы.

**2.4. Исследования в области создания технических средств систем технического зрения** подводных роботов, включающие работы по гидроакустическим средствам (гидролокаторы бокового обзора, донные профилографы), электромагнитным локаторам, оптическим устройствам, фото и видеосистемам и технологиям их применения при решении поисковых, обследовательских, инспекционных и других задач.

**2.5. Исследования в области методического обеспечения и создания эффективных технологий для проведения испытаний и выполнения реальных работ** с использованием подводных аппаратов, на основе оперативной обработки данных на борту аппарата, включая отработку технологий погружения на предельные глубины с учетом изменения плавучести аппарата, управление при сплошных ГБО-съемках и фотосъемках, поиске и отслеживании протяженных объектов, навигацию и отработку нештатных ситуаций в экстремальных условиях высоких широт и плотного ледового покрытия, приведение в заданную точку подводного пространства и т.д.

Реализация адаптивных алгоритмов и программных средств для систем управления движением АНПА в режимах автоматического поиска и отслеживания протяженных объектов, наведения, динамического позиционирования и стыковки, выбора трассы в среде с препятствиями, работ в экстремальных условиях .

**2.6. Создание электронной базы данных** для проектирования в области подводной робототехники.

## **3. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ИПМТ ДВО РАН ЗА ПЕРИОД 2007-2011 ГОДА**

Основные сведения о выполненных работах ИПМТ ДВО РАН за последние 5 лет в области подводной робототехники представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

Наименование, год	Масса кг	Глубина, м	Автономность часы	Состояние разработки
ММТ-3000, 2005	230	3000	12	Экспериментальные испытания в заливе Петра Великого
АНПА МТ-2007 («Клавесин»), 2007-2010	2600	6000	120	Работы в Северном ледовитом океане (хр. Ломоносова), Баренцевом море – 2007 г., Охотском море (поиск РИТЭГ – 2009 г.), в Татарском проливе (обследование места катастрофы самолета Ту-142мз) 2010 г., Японском море (обследование дна акваторий и состояния коммуникаций – 2008-2011 г.)
АНПА «МТ-СФ», 2009	1500	6000	72	Технический проект среднего необитаемого подводного аппарата со сменными рабочими устройствами, обеспечивающими возможность быстрой компоновки гибридного аппарата в автономном или телеуправляемом по оптоволоконному кабелю режимах
ТНПА «Галтель-Т», 2010	120	300	–	Изготовлен экспериментальный образец телеуправляемого аппарата
АНПА «Галтель-А», 2010	500	300	48	Технический проект многофункционального мелководного аппарата с увеличенной автономностью и скоростью хода
АНПА МТ-2010 «Пилигрим» 2010	300	3000	24	Прошел натурные испытания и передан МЧС РФ для использования по назначению
ТНПА МАКС-300, 2011				Изготовлен экспериментальный образец

Далее более подробно о некоторых проектах.

### **3.1. АНПА МТ-2007- «Клавесин»**

В результате проекта создан российский глубоководный многоцелевой АНПА большой автономности с широким спектром поисковой и измерительной аппаратуры, обеспеченный высокоточным навигационным оборудованием, по совокупности характеристик не уступающий известным зарубежным аналогам.



**Рис. 1.** АНПА «Клавесин»

АНПА предназначен для выполнения обзорно-поисковых операций и обследования донных объектов на глубинах до 6000 м. Аппарат способен выполнять заданную миссию в режиме программного управления с коррекцией по гидроакустическому каналу связи с борта судна. В составе АНПА реализованы новые средства навигации и связи, поисковые и информационно-измерительные системы, обеспечивающие комплексное использование информации обзорных гидролокаторов, фототелевизионных и электромагнитных систем обнаружения и обследования объектов. В ходе испытаний установлены уникальные достижения для аппаратов этого класса по глубине погружения (6083 м), автономности (120 час) и дальности хода без подзарядки батарей (330 км). Исследована, разработана и подтверждена в реальных условиях технология применения АНПА для поиска и обследования протяженных донных объектов с использованием комплекса созданных гидроакустических, электромагнитных и оптических средств обнаружения при высокоточной навигационной привязке. Высокая эффективность аппарата достигается с помощью разработанной системы гидроакустического телеуправления и контроля с борта обеспечивающего судна, в том числе с возможностью передачи кадров телевизионного изображения с борта аппарата на борт судна по гидроакустическому каналу связи.

Комплекс АНПА включает:

- автономный необитаемый подводный аппарат;
- пост контроля и управления АНПА;
- буксируемый антенный модуль для управления АНПА;
- комплект многоцветных гидроакустических маяков.

Аппарат имеет следующие основные технические характеристики:

- рабочая глубина погружения – 6000 м;
- скорость движения –  $0 \div 1,5$  м/с;
- масса – 2511 кг;
- размеры: длина – 5,83 м, диаметр – 0,897 м;
- автономность – до 100 час;
- дальность – не менее 300 км.

Аппаратура АНПА обеспечивает:

- обзорно-поисковую съемку дна с помощью гидролокаторов бокового обзора;
- детальное обследование объектов поиска с помощью гидролокационных, телевизионных и электромагнитных средств;
- акустическое профилирование грунта на глубину до 50 м;
- измерение параметров среды (температура, давление, электропроводность воды) и вычисление скорости звука;

- вычисление и регистрацию координат аппарата на его борту и на борту судна-носителя, координатную привязку маршрута;
- накопление всей измеряемой информации с возможностью ее воспроизведения, обработки и привязки к маршруту следования АНПА в течение всего времени работы.

Сопровождение работы АНПА, выполняющего рабочую миссию, осуществляется из поста управления размещаемого на борту судна-носителя через аппаратуру буксируемого антенного модуля. С использованием АНПА «Клавесин» выполнен ряд практических морских работ по заданию правительства РФ и отдельных министерств (МО, МЧС).

- Обследование дна северного Ледовитого океана на хребте Ломоносова в 2007 году. Согласно Решению Морской коллегии при Правительстве РФ от 6 июня 2006 года (п.2, Раздел II Протокола), в августе 2007 года успешно проведена комплексная экспедиции «Арктика-2007». С борта атомного ледокола «Россия» впервые в мире проведены исследования геологического строения дна континентального шельфа Северного Ледовитого океана и особенностей гидрологии водной среды подо льдом на хребте Ломоносова. На основе выполненных измерений для обследованных участков морского дна построены с высокой точностью – батиметрическая карта и карта распределения температуры воды в придонном слое, мозаичный гидролокационный планшет морского дна, диаграммы профиля структуры морского дна, электропроводности и скорости звука. Измерения имеют высокую точность навигационной привязки и были использованы для подготовки материалов представляемых в международные организации для определения внешних границ континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом Океане. (2007).

- Выполнены работы по обследованию ряда акваторий прилегающих к о. Русский по определению мест захоронения боеприпасов и взрывчатых веществ (2008).

- По заданию МЧС выполнена сплошная гидролокационная съемка с использованием локатора высокого разрешения на обширной мелководной акватории (75 км<sup>2</sup>) в районе мыса Низкий в районе предполагаемого аварийного затопления радиоизотопного теплоэлектрогенератора. (2009).

- АНПА «Клавесин» показал высокую эффективность и производительность при поиске и обследовании мест крушения самолета ТУ-142мз в Татарском проливе. Получено фотоизображение участка дна размером один миллион квадратных метров, составленное из фрагментов после обработки 400 тыс. отдельных кадров. (2009-2010).

**Таблица 2**

Характеристика	Название подводного аппарата (страна)			
	Клавесин-1Р (Россия)	REMUS 6000 (США)	Autosub (Англия)	HUGIN 3000(Норвегия)
Габаритные размеры, диаметр × длина, м	0,897 × 5,83	0,71 × 3,84	0,9 × 5,5	1,0 × 5,35
Масса, кг	2511	862	2800	1400
Максимальная рабочая глубина, м	6000	6000	6000	3000
Источник энергии: тип, емкость	4 литий-ионные батареи, 30 кВт/час	2 литий-ионные батареи, 11 кВт/час	6 литий-полимерных батарей, 30 кВт/час	AL/HP топливные элементы 45 кВт/час
Автономность	До 120 час (более 300 км, при скорости 1м/с)	До 22 час	500 км при скорости 1м/с, 200 км при скорости 1,6 м/с	50-60 час
Скорость макс., м/с	До 1.7	До 2.6	До 2	До 2
управление	Супервизорное и автономное. Автоматическая обработка данных ЭМИ, ТВ, ГБО и их использование для управления АНПА			Супервизорное и автономное
Навигационное оборудование	GPS, доплеровский лаг, гирокомпас, ГАНС ДБ, ГАНС УКБ	ИНС, GPS, доплеровский лаг, ГАНС ДБ	ИНС (IX SEA-PYINS), GPS, доплеровский лаг, ГАНС УКБ	ИНС, GPS, доплеровский лаг, ГАНС ДБ, ГАНС УКБ
Связь	Радиомодем, гидроакустическая система телеметрии, телеуправления и передачи изображений	Акустический модем	Двухсторонняя гидроакустическая телеметрическая система	Радиомодем, ГА система управления и передачи данных. Спутниковая связь
Поисковое и исследовательское оборудование	Телевизионная система, электромагнитный искатель, донный профилограф, ГБО НЧ и ВЧ, датчики параметров среды. Возможность подключения дополнительного оборудования	ГБО, измеритель профиля течений. Дополнительно сменное: 2-х частотный ГБО, донный профилограф, датчики среды	Фотосистема, гидролокаторы, датчики среды, химические датчики, пробоотборники	Донный профилограф, ГБО, многолучевой эхолот, датчики параметров среды. Измеритель течений



### 3.2. Малогабаритный многофункциональный АНПА МТ-2010 («Пилигрим»)

Создан, испытан и передан для эксплуатации МЧС РФ подводный аппарат, предназначенный для выполнения глубоководных поисковых и измерительных работ. Обеспечивает гидролокационную и профилографическую съемки дна, а также измерения температуры и электропроводности воды, оснащен цветной фотосистемой и рядом датчиков по усмотрению заказчика.



Рис. 2. АНПА МТ-2010«Пилигрим»

АНПА «Пилигрим» может использоваться в автоматическом режиме по заданной программе или в автоматическом режиме с дополнительной возможностью коррекции программы работы аппарата с борта судна-носителя по гидроакустическому каналу.

Основные технические характеристики:

- рабочая глубина – 3000 м;
- вес ~ 300кг;
- габариты –  $\varnothing$  0,45 x 3,0 м;
- максимальная скорость – 3 м/с;
- автономность (при  $v = 1,5$  м/с) ~ 20 час (пробег ~ 100 км);
- поисковая производительность при работе:
  1. низкочастотного гидролокатора (НЧ ГБО) – до 3 кв.км/час
  2. высокочастотного гидролокатора (ВЧ ГБО) – до 0,7 кв. км/час
  3. фотосистемы – до 10 000 м<sup>2</sup>/час,
- ошибка навигации (при дальности между АНПА и обеспечивающим судном не более 2000 м), не более ~ 10 м;
- максимальное волнение моря для проведения работ – 3 балла.

Работа АНПА обеспечивается с борта сопровождающего судна, на котором размещается аппаратура постов навигатора и оператора.

Навигационный комплекс в составе АНПА включает:

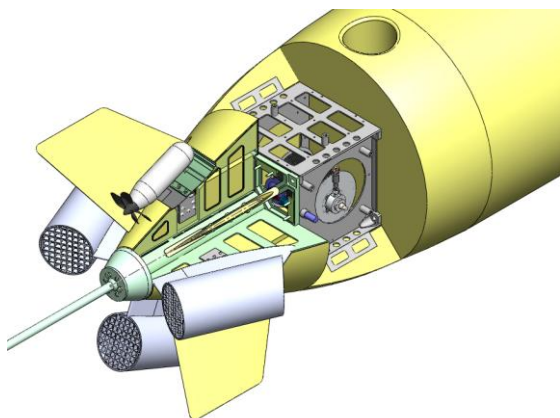
- приемник спутниковой навигации (GPS);
- доплеровский лаг /ДЛ/;
- бортовые блоки ГАНС, в том числе многоканальный пеленгатор навигационных сигналов.

Работа навигационного комплекса поддерживается судовыми средствами, входящими в состав поста навигатора АНПА, и основана на использовании комплекта возвращаемых донных маяков-ответчиков гидроакустической навигационной системы (ГАНС).

Навигационное и регистрирующее оборудование обеспечивает:

- координатную привязку маршрута движения при удалении от корабля-носителя до 3-5 км;
- запись и накопление всей измеряемой и регистрируемой информации с возможностью ее воспроизведения, обработки и привязки к маршруту следования АНПА в течение всего времени работы.

### 3.3. Гибридный АНПА МТ-СФ



На уровне технического проекта разработана конструктивная схема АНПА с целью реализации гибридного НПА, сочетающего возможности автономного аппарата, аналога АНПА «Клавесин», и аппарата, управляемого по оптоволоконному кабелю, при размещении сменного кабельного оборудования на борту аппарата, носителя и судовой обеспечивающей антенны. Кабельное оборудование устанавливается в кормовом отсеке АНПА. Основные характеристики АНПА «МТ-СФ» приведены в таблице 3.

Рис. 3. Кормовой отсек АНПА МТ-СФ

Таблица 3

№	Характеристика	Значение
1	Масса на воздухе, кг:	1520
3	Водоизмещение, дм <sup>3</sup> :	1937
4	Габаритные размеры, м: длина x диаметр	4.592×0.80
5	Предельная рабочая глубина, м: с модулями «Video» и «Opto»	3000
6	Энерговооруженность не менее, кВт*час:	7.56
7	Диапазон скоростей хода, м/с	От 0 до 1,5
8	Крейсерская скорость, м/с	до 1,0
9*	Максимальная дальность не менее, км	135

### 3.4. Поисково-обследовательский комплекс МТ-2009К.

В стадии изготовления опытного образца находится работа по созданию поисково-обследовательского комплекса для площадного обзора и детального обследования дна и гидротехнических сооружений при глубинах до 300 м, включающий АНПА, ТНПА и средства навигационного обеспечения.

Комплекс обеспечивает:

- с использованием АНПА: осмотр и картографирование донной поверхности в заданных акваториях при помощи бортовой гидроакустической аппаратуры, включая профилограф и интерферометрический ГБО, проведение площадной съемки дна при помощи бортовой фото- и телевизионной аппаратуры (ФТА).

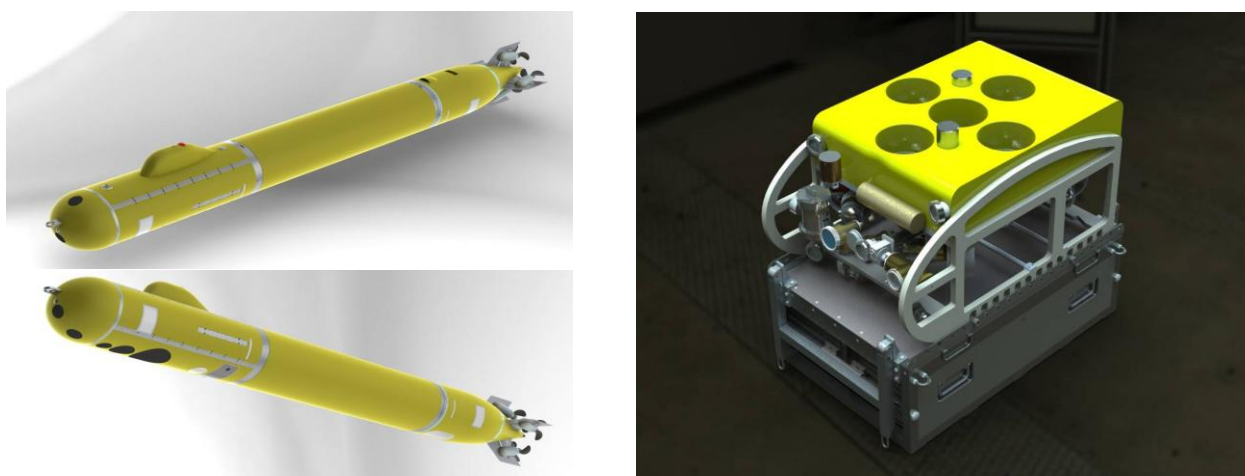
- с использованием ТНПА: детальное обследование обнаруженных донных объектов при помощи гидроакустических средств и бортовой ФТА, а также детальное обследование подводной части корпусов кораблей, грунта в местах их базирования, а также подводных кабельных магистралей, трубопроводов и гидротехнических сооружений при помощи ГСО и бортовой ФТА. Основные характеристики АНПА и ТНПА приведены в таблицах 4, 5, их общий вид на рис. 4.

**Таблица 4**

Характеристика АНПА	Значение
- масса аппарата , кг	490
- длина , м	4,1
- диаметр корпуса , м	0,42
- габаритная ширины ,м	0,59
- габаритная высота, м	0,65
- автономность , ч	24
- скорость полного хода ,м/с	3
- скорость поисковая , м/с	1,5

**Таблица 5**

Характеристика ТНПА	Значение
Масса на воздухе (базовый вариант), кг	115
Масса на воздухе (вариант с манипулятором и профилирующим ГСО), кг	120
Остаточная плавучесть (базовый вариант) не менее, кг	2
Остаточная плавучесть (вариант с манипулятором и профилирующим ГСО) не менее, кг	5
Габаритные размеры, м: длина; ширина; высота	1225×780×725
Предельная рабочая глубина, м	300
Максимальная потребляемая мощность от энергосистемы судна носителя не более, Вт	4500
Длина кабеля связи ТНПА, м	600
Максимальная допустимая скорость течения в районе работ с глубинами до 50 м, м/с	1,0
Максимальная допустимая скорость течения в районе работ с глубинами до 300 м, м/с	0.5

**Рис. 4.** Автономный и телеуправляемый аппараты поисково-обследовательского комплекса

### 3.5. Малогабаритный телеуправляемый подводный аппарат «МАКС-300»

Новый МТПА «МАКС-300» был разработан ИПМТ в 2011 г. по контракту с Морским государственным университетом им. Г.И. Невельского. Он предназначен для решения широкого круга задач – от инспектирования гидротехнических сооружений и корпуса судна до проведения обзорных и поисково-спасательных работ на глубинах до 300 м. Вид телеуправляемого аппарата и его характеристики приведены на рис. 5 и в таблице 6.

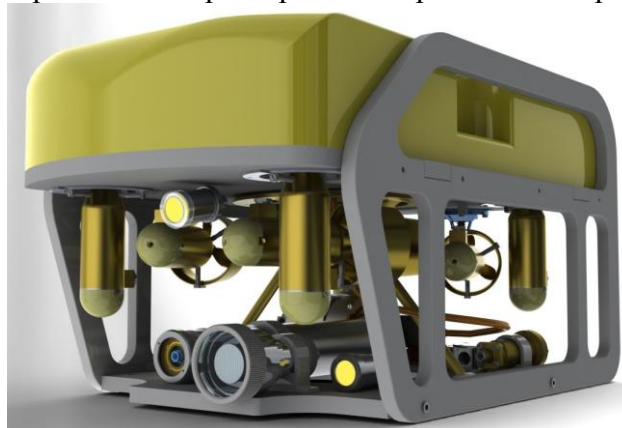


Рис. 5. Малогабаритный телеуправляемый ПА «МАКС-300»

Таблица 6

Максимальная глубина погружения, м	300
Масса, кг	45
Длина, мм	860
Ширина, мм	520
Высота, мм	460
Максимальная скорость горизонтального хода по поверхности, м/с	1.00
Максимальная скорость вертикального хода, м/с	0.50
Максимальная угловая скорость рыскания, град/с	75
Максимальная потребляемая электрическая мощность, Вт	2500
Напряжение питания, В (50 Гц)	220

## 4. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

### 4.1. Проблемы

Таким образом к числу важнейших научно-технических проблем, связанных с созданием современных многофункциональных АНПА, к числу которых, как следует из приведенного анализа, можно отнести:

- значительное повышение автономности на основе новых энерготехнологий и высокоточных средств навигации. При этом, очевидно, использование интегрированных средств навигации приобретает первостепенное значение, включая автономные, гидроакустические и спутниковые системы навигации и дистанционного (супервизорного) управления,

- разработку «интеллектуальных» автономных систем управления и ориентирования в подводном пространстве,

- организацию робототехнических комплексов и системных архитектур с использованием современных достижений компьютерных технологий, средств связи и научно-прикладного оснащения.

- сближение функциональных возможностей автономных и телеуправляемых подводных роботов и создание достаточно универсальных комплексов, содержащих относительно простые, надежные и эффективные аппараты, способные решать во взаимодействии самые сложные задачи в глубинах морей и океанов.

Кроме того, есть организационные проблемы, от решения которых во многом зависит нынешнее состояние и перспективы развития подводных робототехнических средств. По нашему мнению ключевыми из них являются:

А. Возможность оперативного применения новейших комплектующих импортного производства.

В составе разработанных нами средств все системы и программное обеспечение, за минимальным исключением, – российской разработки, однако комплектующие электрорадиоизделия на уровне отдельных дискретных элементов (микросхемы, транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы, микропроцессорные модули) – на 80-90 процентов импортного производства. Выбор таких комплектующих является вынужденным из-за отсутствия российских аналогов с необходимыми показателями по энергопотреблению, массе, габаритам, а именно эти требования определяют облик, основные тактико-технические характеристики, конкурентоспособность и стоимость автономных и телеуправляемых аппаратов.

Б. Необходимость формирования широкой кооперации выполняемых работ с целью расширения объема исследовательских работ и концентрации усилий разработчиков на сокращение времени разработки отдельных аппаратов и их систем за счет передачи части проектных и производственных работ заинтересованным предприятиям. Это также позволит привести в соответствие содержание работ реальному составу и компетенции специалистов, наличию необходимой производственной структуры и базы нормативной документации. На наш взгляд для осуждения с заинтересованными партнерами ИПМТ ДВО РАН может предложена примерная схема распределения объемов работ при создании образцов подводной робототехники для потенциальных отечественных и зарубежных потребителей (таблица 7).

**Таблица 7**

Наименование этапов работ	Исполнитель-уровень участия, %	
	ИПМТ	соисполнители
Выполнение инициативных научных проработок по перспективным направлениям	90	10
Выполнение НИР	90	10
Предэскизные проработки	80	20
Эскизный проект	80	20
Технический проект	40	60
Разработка, изготовление и испытания макетных и экспериментальных образцов	70	30
Разработка РКД	20	80
Изготовление отдельных систем и устройств в составе опытного образца	80	20
Изготовление опытного образца	20	80
Предварительные испытания	50	50
Межведомственные и государственные испытания	50	50
Доработка РКД	10	90
Опытная эксплуатация опытного образца	30	70
Подготовка производства для мелкосерийного выпуска	10	90
Производство серийных образцов	10	90
Приемосдаточные испытания	30	70
Техническое сопровождение эксплуатации опытных и серийных образцов	20	80

## 4.2. Перспективы

На ближайшую перспективу ИПМТ ДВО РАН ставит следующие задачи:

- создание унифицированного ряда поисково-обследовательских аппаратов различного водоизмещения для работы в широком диапазоне глубин – от предельных до мелководных в условиях портов и закрытых бухт, с уменьшением габаритных размеров и упрощением обслуживания;
- создание комплексов, включающих автономные, телеуправляемые и гибридные аппараты;
- развитие систем управления, навигации, поисковых средств, отладка технологий их сертификации в соответствии с действующими международными требованиями;
- стандартизация технологий подготовки планирования, управления ходом миссии, обработки данных, форматов выходных данных;
- сопряжение навигационных и поисковых устройств с отечественными и зарубежными аналогами;
- интеграция робототехнических средств с перспективными технологиями подводных технических работ путем кооперации с соответствующими предприятиями;
- создание нормативной базы документов, регламентирующих порядок разработки, испытаний и применения подводных робототехнических средств;
- развитие собственной производственной и испытательной базы.



**Рис. 7.** Центр по проектированию подводных робототехнических средств ИПМТ ДВО РАН. Завершение строительства в 2013 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время ИПМТ ДВО РАН имеет научный и кадровый потенциал, достаточный для создания современных подводных робототехнических средств. Представленные в докладе сведения являются результатом плодотворной деятельности всего коллектива института, и авторы с признательностью выражают уверенность в сохранении набранных темпов. Более подробную информацию о научных исследованиях института можно найти в материалах журнала «Подводные исследования и робототехника», регулярные выпуски которого выходят с 2006 года, и на сайте <http://www.imtp.febras.ru>.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИССЛЕДОВАНИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ (В СОСТАВЕ ЕСИМО)

**В.А. Соловьев, А.В. Зарецкий, С.А. Свиридов, А.А. Метальников**

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997, Москва, ГСП-7, Нахимовский проспект, 36, тел./факс: 8(499) 129-27-45,  
e-mail: [esimo@ocean.ru](mailto:esimo@ocean.ru), <http://www.ocean.ru>

Предлагается технология информационной поддержки научных исследований Мирового океана, которая обеспечивает персонафицированный доступ к научным ресурсам ЕСИМО, полученным в результате исследования океана с помощью различных научно-технических средств, в том числе и подводных аппаратов.

Единая система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) содержит набор информационных технологий, с помощью которых осуществляется сбор, обработка и предоставление пользователям данных. Одной из них является технология информационной поддержки научных исследований Мирового океана, которая обеспечивает персонафицированный доступ к научным ресурсам ЕСИМО; выполнение запросов, таблично-графическое и картографическое представление ресурсов системы пользователям с помощью различных коммуникационных устройств.

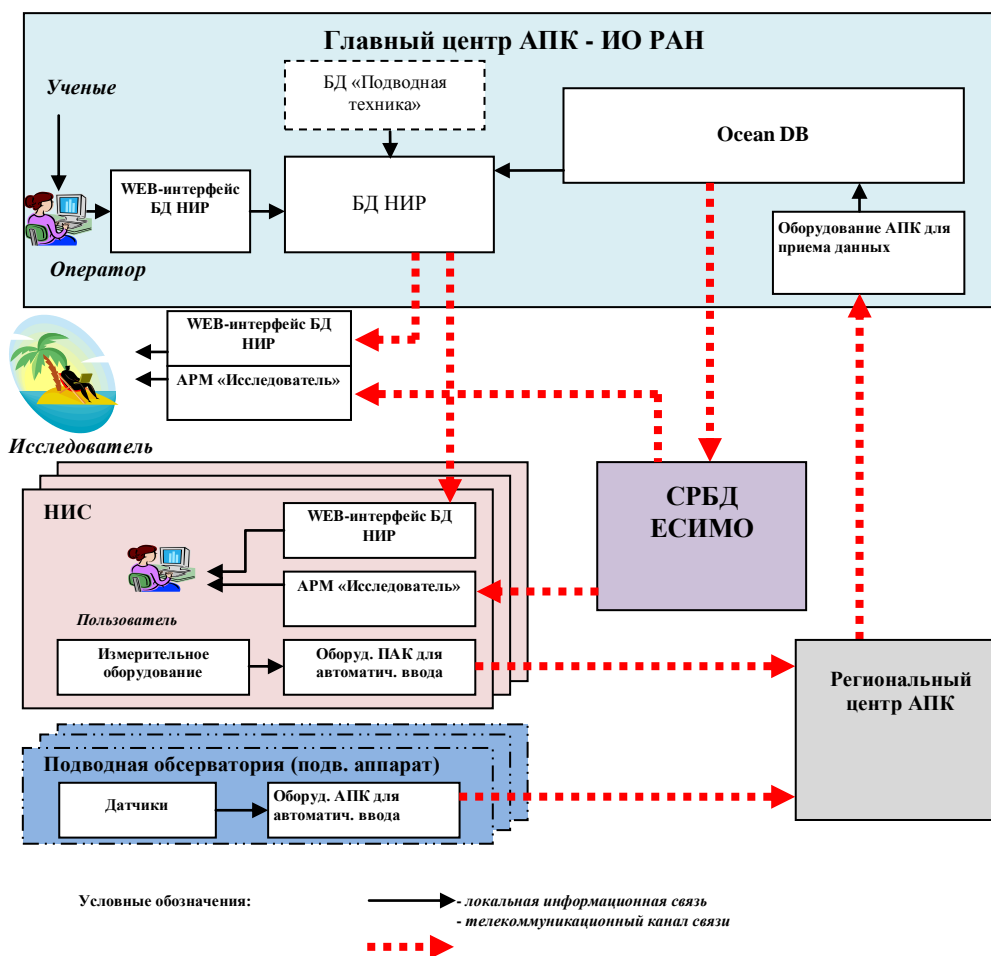
Программная архитектура технологии строится следующим образом. На входе системы используются средства автоматического и автоматизированного ввода данных и виде цифровых массивов, документов и изображений, с помощью которых по определенному регламенту осуществляется накопление информации. Затем эта информация преобразуется в формат обработки данных. Далее в соответствии с заранее настроенными процедурами данные агрегируются и консолидируются, образуя при этом информационную базу в виде карт, таблиц, графиков, цифровых океанологических данных для различных показателей состояния среды.

Информационная база технологии информационной поддержки исследований Мирового океана включает в себя:

- базу данных результатов выполнения НИР (БД НИР), полученных в ходе выполнения подпрограммы «Исследования природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан» за 1999-2011 годы, других научных материалов, и автономное Web-приложение для работы с ней;
- базу научных данных и другую информацию об океане, размещенную на ресурсах ЕСИМО, через средства удаленного доступа – АРМ «Исследователь»;
- данные об измерениях океанологических параметров, получаемые в результате обмена информацией между распределенной базой данных (СРБД) ЕСИМО, НИС и другими подвижными или стационарными объектами с помощью аппаратно-программного комплекса (АПК).

Структурная схема организации информационной базы представлена на рис. 1.

На структурной схеме отображены основные компоненты информационной базы технологии информационной поддержки исследований Мирового океана, а также распределение потоков данных. Структурно информационная база обеспечивает закольцованный обмен информации между основными субъектами технологии.



**Рис. 1.** Структурная схема организации информационной базы

Субъектами технологии являются:

а) поставщики океанологических данных и научных материалов, в перечень которых могут входить:

- в качестве поставщиков научных материалов – научные сотрудники, инженерно-технические работники, сотрудники научно-организационных структур;
- стационарные измерительные комплексы (прибрежные и подводные обсерватории);
- подвижные измерительные комплексы (установленные на НИС, дрейфующие автономные, робототехнические);

б) потребители научных данных (исследователи, аналитики), которые могут находиться в любой географической точке, где имеется доступ к телекоммуникационным каналам связи;

с) технические средства, обеспечивающие функционирование технологии, включающие в себя:

- оборудование АПК для автоматического ввода данных от измерительных приборов, кодирование и шифрование их, передачу по каналам связи, устанавливаемое на измерительных комплексах;

- региональный центр АПК, который осуществляет прием и концентрацию данных от измерительного куста, и передает их главный центр АПК;

- главный центр АПК, размещается в ИО РАН и обеспечивает управление средствами АПК, обработкой и анализом поступающей информации, ведение баз данных (хранилище океанологических данных Института океанологии OceanDB, БД НИР), обеспечение поставки информации в СРБД ЕСИМО и пользователям;



– СРБД ЕСИМО обеспечивает сбор и каталогизацию данных, ведет базу метаданных, поставляет океанологическую информацию в АРМ «Исследователь», обеспечивает организационный и технологический контроль субъектов технологии.

Такая схема организации информационной базы исследования океана позволяет гибко и целенаправленно выстраивать и наращивать технологические цепочки, используя принципы модульного и сетевого построения системы.

Адрес для входа в портал центра ЕСИМО РАН: <http://ias.ocean.ru/esimo/>

Технология информационной поддержки научных исследований Мирового океана содержит практически все основные информационные компоненты и программные инструменты для работы с ними для эффективного изучения природы океана, его взаимодействия с атмосферой и других актуальных направлений океанологии. Технология позволяет в ходе проведения экспедиций оперативно в режиме реального времени обмениваться многими необходимыми данными с коллегами, и получать своевременно и в достаточном объеме информацию из архивов по направлению исследований.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДНА МОРЯ

**Я.А. Ивакин, Н.А. Жукова, А.В. Панькин**

СПИИРАН

199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия, 39  
e-mail: ivakin@oogis.ru, nazukova@mail.ru, pankin@oogis.ru  
[http:// www.oogis.ru](http://www.oogis.ru)

Техническое и информационное объединение разнотипных необитаемых подводных аппаратов (НПА) и соответствующих средств их подводной навигации в составе роботизированных комплексов открыло принципиально новые возможности в получении, обработке и представлении информации об обстановке на морском дне. Такое объединение позволяет говорить не о решении НПА отдельных задач под водой, а о мониторинге придонной обстановки на обследуемых акваториях. Очевидно, что мониторинг придонной обстановки для указанных роботизированных комплексов не является самоцелью. Выявляемые НПА данные по придонной обстановке являются исходной информацией для различных органов управления организационно-технических и технических систем более высокого уровня, т.е. для внешних потребителей. Следовательно, информация от НПА по мониторингу придонной обстановки должна быть представлена в виде понятном и удобном для потребителей. Традиционным средством наглядного представления обстановки на морских акваториях была и остается географическая карта. Поэтому является логичным тот факт, что программной платформой для представления информации от НПА в интересах потребителей выступают геоинформационные системы (ГИС).

В свою очередь, внедрение ГИС в прикладное программное обеспечение подводных роботизированных комплексов открывает дополнительные возможности по интеграции данных, получаемых от НПА, с данными о гидрографической, гидрометеорологической, тактической и другими видами обстановки. Такая интеграция объективно требует организации программно-информационного взаимодействия подводного роботизированного комплекса с внешними для него информационными системами. В данном случае, указанный комплекс сам будет выступать потребителем информации от внешних информационных систем.

Таким образом, с позиций теории построения информационных систем, создание подводных роботизированных комплексов, следует рассматривать как создание открытых систем, являющихся в свою очередь составной частью более крупных систем, таких как корпоративные информационные системы. Перспективная архитектура программно-информационного обеспечения подводных роботизированных комплексов может и должна быть построена на принципах открытых информационных систем, должна поддерживать единый формат информационного взаимодействия с другими системами.

Подводные роботизированные комплексы предназначены для сбора, накопления, обработки, отображения и документирования информации, полученной в ходе обследования дна назначенных районов силами автономных (АНПА), телеуправляемых (ТНПА) и буксируемых необитаемых подводных аппаратов. Мониторинг обстановки предполагает поиск, обнаружение, классификацию, определение параметров различных объектов. Информационной составляющей таких комплексов должна стать соответствующая модель позволяющая реализовать все необходимые функции.

В основу предлагаемой информационной модели подводного роботизированного комплекса предлагается положить унифицированную модель представления информации [1].

Модель позволяет строить необходимые объекты динамически, с теми характеристиками и свойствами, которые необходимы в данной конкретной прикладной задаче выполняемой роботизированным комплексом мониторинга дна моря. Использование модели позволяет реализовать обмен информацией между компонентами комплекса и внешними системами.

Кроме непосредственного хранения данных об объектах унифицированную модель представления информации позволяет описывать всю предметную область. Реализацией концепции описания предметной области является многоуровневая модель метаданных.

Метаданные – это данные, описывающие организацию других данных. Совокупность значений свойств объекта является конкретными данными. Прежде, чем создается объект модели представления информации некоторого класса, необходимо описать данный класс объектов, то есть привести описание того, сколько свойств будут иметь объекты данного класса, каких типов должны иметь эти свойства, какой у них возможен диапазон значений и т.д. Таким образом, спецификация класса является метаданными объектов модели представления информации [2]. Далее эти метаданные используются для создания конкретных программных объектов, выделение под них оперативной памяти и дальнейшее ее освобождение, присваивание конкретных значений свойствам и т.д.

Описание предметной области предполагает реализацию моделью следующих функций [3]:

- возможность описания предметной области.
- разделение постоянной и переменной информации об объекте. Использование одного и того же объекта в разных темах.
- универсальный механизм отношений.
- сохранение истории состояний свойств объекта.
- множественное наследование.
- фильтрация информации для различных групп пользователей.

Для всех информационных объектов используется одна и та же информационная модель. Эта модель предполагает наличие дерева унаследованных классов объектов и непосредственно объектов данных классов.

Каждый класс может иметь множество свойств и их значений по умолчанию. Каждый класс имеет только те свойства, которые отличают его от родительского класса.

Объекты предметной области представляют собой информационные модели реальных объектов и являются экземплярами классов предметной области. Каждый класс может иметь множество своих экземпляров – объектов предметной области.

Объекты предметной области создаются на основании классов. Каждый объект может быть унаследован от нескольких классов. Это дает возможность объединять различные онтологии. Каждый объект предметной области может быть унаследован от нескольких классов. Это дает возможность рассматривать поведение объекта в разных предметных областях. Например: объект «АНПА» может рассматриваться в иерархии классов Подводных аппаратов и ему будут присущи свойства характерные для подводных аппаратов, с другой стороны — он может рассматриваться в иерархии классов геоинформационных объектов и ему будут присущи свойства курс, скорость, широта, долгота.

При создании объекта предметной области ему добавляются свойства всех классов, прямым потомком которых является объект. Причем сначала добавляются свойства самого корневого класса, затем его потомка и так далее, до класса непосредственно родителя объекта, это позволяет не потерять значения переопределенных свойств.

Таким образом, используя механизмы описания иерархии классов и объектов предметной области можно создавать, хранить, изменять, удалять информацию, описывающую предметную область комплексов.

Функционирование практически каждой сложной системы предполагает одновременную работу большого количества операторов, при этом различные операторы могут выполнять одновременно разные функции. Это приводит к тому, что одни и те же объекты предметной области используются по-разному. Поэтому информационная модель предполагает создание различных вариантов обстановки.

Для каждого варианта обстановки создается своя тема. Каждая тема предполагает наличие непересекающегося множества объектов темы.

Совокупность свойств объекта темы состоит из двух множеств — постоянная информация (не изменяющаяся в разных условиях обстановки) и переменная информация (изменяющаяся в разных условиях обстановки). Поэтому, объект темы состоит из объекта онтологии и представления объекта онтологии на карте. Постоянная информация объекта темы хранится в объекте онтологии, а переменная часть в представлении объекта онтологии в данной теме. Это дает возможность использовать один и тот же объект онтологии одновременно в разных темах в разных задачах.

Механизм отношения позволяет в общем виде реализовывать отношения, связывающие различные объекты между собой. Дает возможность описывать свойства, возникающие вследствие взаимодействия объектов, в том числе и системообразующие свойства. Через механизм отношений реализуются расчетные задачи.

Различные группы пользователей должны иметь доступ к ограниченному множеству объектов и значений их свойств. Проиллюстрировать это можно следующим образом. Существуют группы «Контроля состояния технических средств» и «Мониторинга обстановки». «Группа контроля состояния технических средств» имеет доступ к объектам темы, связанным с составом технических средств, планам регламентных работ, в то время, как группа мониторинга обстановки» работает с объектами, лежащими на дне, планами переходов кораблей и судов.

Таким образом, использование унифицированной модели представления информации позволяет строить роботизированные комплексы мониторинга дна моря заданного уровня сложности и учитывать всю необходимую информацию в системе.

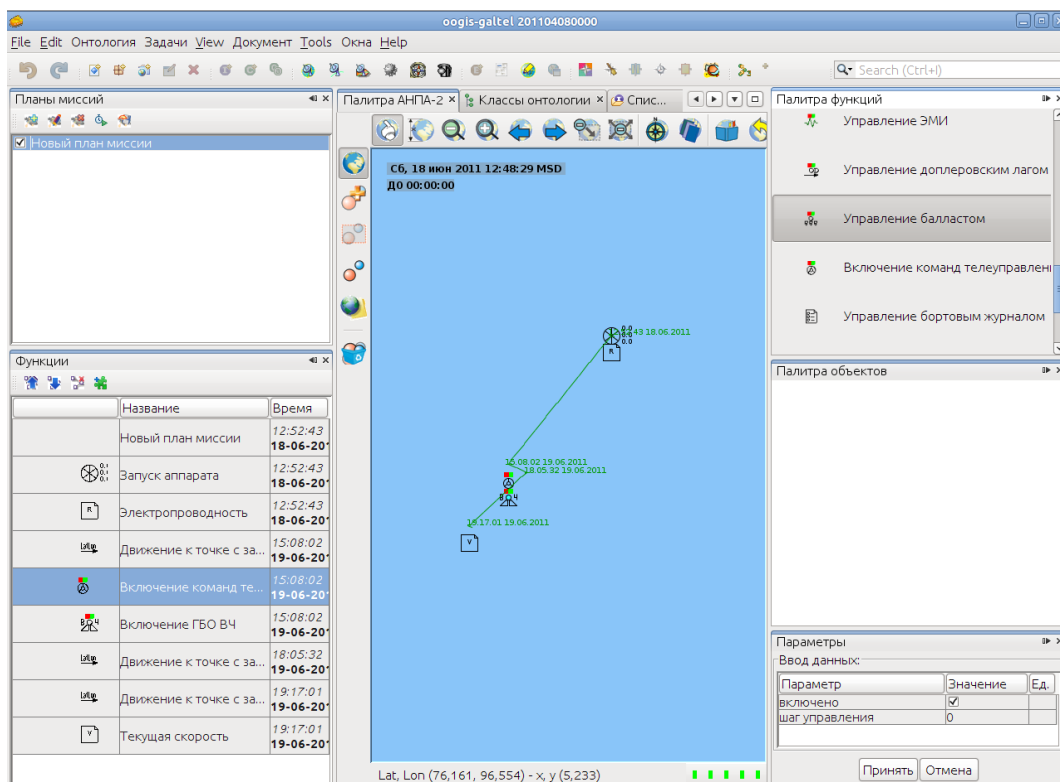
Данная модель была реализована в программном комплексе (ПК) «Галтель-Алеврит» предназначенном для отображения на картографической основе и анализа результатов освещения донной обстановки в зоне ответственности РКОВР «Галтель».

Программный комплекс выполняет следующие функции:

1. Организация использования необитаемых подводных аппаратов (НПА)
  - 1.1. Учет состояния НПА
  - 1.2. Постановка задачи на использование
  - 1.3. Расчет потребного наряда сил
    - 1.3.1. Расчет поисковой производительности
    - 1.3.2. Расчет задачи поиска
  - 1.4. Планирование использования
2. Проведение миссии НПА
3. Сбор информации
  - 3.1. Сбор информации о использовании НПА
  - 3.2. Сбор информации о результатах обследования и параметрах движения НПА
4. Обработка информации
  - 4.1. Обнаружение объекта
  - 4.2. Выявление объекта

Подробно рассмотрим функцию планирования миссии.

Планирование миссии позволяет оператору визуально создать план разрабатываемой миссии АНПА (рис.1), сохранить его для дальнейшего использования, а также экспортировать созданный план в низкоуровневое описание миссии.



**Рис.1.** Планирование миссии

Основой визуального описания миссии является последовательность условных знаков функций, изображенных как на картографической основе, так и представленных в специальной таблице в окне «Функции».

Функции движения АНПА являются базовыми для построения маршрута миссии. Под маршрутом миссии понимается набор точек, каждая из которых соответствует элементарному движению аппарата. Каждая точка маршрута обладает не только географическими координатами (широта, долгота, или относительные координаты), но и временем прихода аппарата в эту точку. Добавление любой функции движения приводит к добавлению точки маршрута миссии.

Не относящиеся к движению аппарата функции имеют географическую привязку к соответствующей точке маршрута.

Каждая из функций обладает набором свойств, соответствующих логике ее работы. Свойства функций задаются в окне «Параметры» посредством вызова диалоговых окон редактирования параметров указанного типа.

Палитра функций позволяет визуально осуществлять выбор нужной функции и добавлять ее к плану миссии. Палитра содержит четыре основных раздела: «Функция управления движением», «Функция управления бортовой аппаратурой», «Функция получения информации от аппарата» и «Обработка событий». К дополнительным разделам палитры функций относятся: «Типовой сценарий» и «Служебные функции».

Раздел «Типовой сценарий» содержит единственный пункт «Типовой план миссии». Использование этого пункта позволяет добавлять ранее сохраненные шаблоны функций в текущую миссию, что позволяет значительно ускорить процесс разработки плана миссии.

Раздел «Служебные функции» содержит пункты «Начало цикла» и «Завершение цикла». Эти служебные функции добавляются в графическое представление плана миссии и таблицу функций в виде специальных знаков и позволяют реализовывать в плане миссии циклы любой вложенности.

Реализация циклов в планах миссий является необходимой возможностью для создания сложных движений аппарата (движение по окружности, движение по квадрату и т. д.). Все функции, находящиеся в теле цикла выполняются столько раз, сколько указано в параметре цикла.

Моделирование миссии позволяет провести имитацию работы АНПА по созданному плану. При этом моделирование осуществляется в разных масштабах времени и с выдачей множества сообщений о состоянии аппарата.

Оператор системы получает информацию о перемещении аппарата, рассчитанному времени его прихода в точки маршрута. Все сообщения представлены в цветовой шкале, соответствующей их важности.

При моделировании движения аппарата возможно изменения масштаба времени, а также любое изменение начального модельного времени.

Все категории процесса планирования миссии описаны в виде мета классов унифицированной модели программного взаимодействия.

Предложенный подход к рассмотрению подводных роботизированных комплексов как открытых информационных систем предполагает организацию информационного взаимодействия этих комплексов с самым широким кругом источников и потребителей цифровой информации. На этой базе становится возможным добиться нового качества в обработке, представлении и доведении до потребителей данных по придонной обстановке. Этот подход становится особенно актуальным в свете всеобщего распространения сетевидческой концепции обработки информации в рамках глобальной информационной технологии.

Резюмируя описание новых возможностей, которые дает предлагаемый подход, необходимо указать, что приведенные в данной статье примеры конкретных технологических решений охватывают достаточно узкий круг наглядных задач по обработке информации от НПА в условиях взаимодействия с внешними системами из их широкого перечня. Возможности технологических решений предусматриваемых предлагаемым подходом значительно шире, чем это показано в данной статье. Этот факт дает основания для дальнейших работ и исследований по тематике статьи.

Предлагаемые в данной статье подход и программно-технологические решения, предусматривают их эффективное внедрение и реализацию в программном обеспечении современных и разрабатываемых подводных роботизированных комплексов, что позволяет говорить о его перспективности и практической применимости.

## Литература

1. Панькин А.В., Попович В.В., Потапычев С.Н., Шайда С.С., Воронин М.Н. Интеллектуальная ГИС в системах мониторинга. [Текст] // Труды СПИИРАН. – Вып.3 Т.1. – СПб.: Наука, 2006. – С. 172-184
2. Pankin A., Popovich V., Ivakin Y. Data for GIS. CORP2005, University of Technology Vienna, 2006. – P. 302-310
3. Панькин А.В. Организация информационного взаимодействия элементов геоинформационной системы [Текст] // Конференция «Региональная информатика-2010». – СПб, 2010. – С. 356