

СЕКЦИЯ 1

Подводные аппараты и их системы:
автономные, телеуправляемые и буксируемые
робототехнические комплексы, проблемы
технологии и эксплуатации.

Практические применения и актуальные задачи
развития подводной техники, включая научную,
коммерческую и военную области

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И РОЛЬ ПОДВОДНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА МОРЕ

Н.М. Минаков

ОП ОАО «Тетис Про» г. Владивосток
690065, Владивосток, ул. Леонова, 27, оф. 5, тел./факс: (423) 279-10-05,
e-mail: vlad-tetis@mail.ru

Рассматриваются вопросы о практическом применении подводной техники, о задачах и основных направлениях развития подводной техники и о результатах практического использования такого подводного оборудования.

Подводная техника способна выполнять различные виды технических и исследовательских работ под водой. Мировой опыт применения Подводной техники доказывает, что без нее невозможно представить себе развитие нефте- и газодобывающей отрасли в шельфовой зоне, проведение обследовательских работ, осуществление спасательных и поисковых операций, гидрографических и биологических исследований. С ее помощью производятся поиск и обследование затонувших объектов и искусственных сооружений, геологоразведка и картографирование дна, выполнение работ при строительстве и эксплуатации гидросооружений, подводных кабелей, трубопроводов и других объектов.

Подводную технику разделяют на четыре основных категории:

- водолазная техника;
- подводные аппараты;
- подводно-гидравлический инструмент;
- поисковые комплексы и системы.

Использование подводной техники в России имеет свои особенности. Поэтому одним из основных направлений деятельности Группы компаний ТЕТИС является разработка и производство подводной техники, и комплексное оснащение профессиональных водолазных и аварийно-спасательных служб. Мы предлагаем лучшее снаряжение и оборудование для выполнения работ под водой и элементы систем жизнеобеспечения отечественного и иностранного производства. Группа Компаний ТЕТИС является основным поставщиком специального водолазного снаряжения и оборудования для Министерства чрезвычайных ситуаций РФ, Министерства внутренних дел РФ, Федеральной службы безопасности, Федеральной пограничной службы и Военно-Морского Флота. Среди клиентов Группы компаний ТЕТИС крупнейшие промышленные предприятия России, такие как ОАО «ГМК «Норильский никель», ОАО «Северсталь», ОАО «АК «Транснефть», ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» и др., а также судостроительные предприятия и специализированные организации самого широкого профиля, выполняющие разнообразные виды подводных работ.

На службе в ВМФ. В 2001-2007 годах на вооружение ВМФ России поступила Подводная техника. Были закуплены семь ТНПА «Тайгер» для выполнения поиска и обследования, а также два рабочих телеуправляемых подводных аппарата «Веном» для подводно-технических работ. В 2004 году успешно прошли государственные испытания телеуправляемый необитаемый подводный поисково-обследовательский аппарат «Фалкон» (SAAB Seaeye, Великобритания) и миниатюрный осмотровый ТНПА «Обзор-150» (ОАО «Тетис Про», Москва). В 2006-2009 годах ВМФ получил четыре мобильных комплекса на базе РТНПА «Пантера Плюс» производства SAAB Seaeye.

В результате суда ВМФ сегодня оснащены целым рядом ТНПА для выполнения подводно-технических работ.

Официальным представителем фирм SAAB Seaeye, SMD Hydrovision в России является фирма ОАО «Тетис Про», которая обеспечивает поставку ТНПА с полным комплектом документации в соответствии с ГОСТами, проведение их испытаний, ввод в эксплуатацию, подготовку обслуживающего технического персонала и многолетнее сервисное обслуживание.

На сегодняшний день ТНПА используются в интересах ВМФ для решения следующих задач:

- разведка, патрулирование, обеспечение безопасности объектов военной техники;
- обследование и обезвреживание минных полей;
- обследование затонувших объектов, в том числе и с боезапасом;
- поиск торпед и других типов оружия;
- обследование корпусов и винто-рулевых групп кораблей;
- доставка к месту работы водолазов инструмента, пенала для передачи на ПЛ и подъем этих элементов на поверхность воды;
- обеспечение безопасности глубоководных спусков водолазов;
- наведение обитаемого (спасательного) подводного аппарата на объект (комингс-площадку ПЛ) по данным гидролокатора ТНПА.

На объектах морских нефтегазопромыслов. Значительные запасы газа в Баренцевом и Карском морях представляют большой интерес для России. Идет подготовка к работам в Арктической зоне на глубинах до 400 м. На шельфе Арктических морей планируются обустройство и разработка морских месторождений. Строительство и ввод в эксплуатацию магистральных газопроводов запланированы на Черном море. При помощи ТНПА осуществляется строительство и последующая эксплуатация подводных коммуникаций. На объектах морских нефтегазопромыслов ТНПА используются на всех этапах работ – от обследования трассы прокладки трубопровода и бурения скважины до эксплуатации и ликвидации скважины.

Подводное обследование с помощью телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов позволяет получить объективную визуальную информацию о состоянии подводных сооружений в режиме реального времени с записью на рекордер с целью последующего детального анализа.

Съемка рельефа дна осуществляется батиметрическим локатором и гидролокатором кругового обзора. Дополнительно на аппарате могут быть установлены датчики для определения концентрации метана в воде, гидролокатор бокового обзора, магнитометрические и электромагнитные датчики.

В поисковых работах МЧС. МЧС России широко использует ТНПА для поиска и обследования потенциально опасных подводных объектов: затонувших судов, затопленных химических боеприпасов, мониторинга контейнеров с радиоактивными отходами, систем водоснабжения АЭС.

С помощью телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов можно также исследовать состояние отработанного ядерного топлива в бассейнах выдержки и местах захоронения в воде, обнаружить утечки нефтепродуктов.

Использование ТНПА значительно сокращает время проведения поисково-спасательных работ, дает возможность наблюдать за объектом неограниченно долгое время и выполнять при этом максимально подробный осмотр.

При использовании ТНПА требуется минимальная численность персонала: 1-2 человека. В экстремальных ситуациях, когда необходимо очень быстро подготовить аппарат к погружению, оператору требуется для этого всего несколько минут.

В дополнение к средствам гидроакустического поиска ТНПА быстро и эффективно производят визуальный осмотр найденного объекта и помогают определить тип объекта, степень его повреждения и потенциальной опасности для окружающей среды и человека.

Рассматривая результаты практического применения подводной техники, можно выделить основные задачи:

- поиск и обследование подводных объектов;
- выполнение полного спектра подводных работ;
- оказание помощи и спасения людей на воде;
- поисково-спасательное обеспечение подводных лодок ВМФ;
- спасение экипажей затонувших подводных лодок (с помощью обитаемых и не обитаемых аппаратов и др. техники);
- поиск и подъем затонувших летательных аппаратов.

Практические применения. Можно привести несколько примеров использования подводных аппаратов различных типов в интересах ВМФ и других ведомств:

1. Поиск и подъем вертолета КА 27 ПС в Уссурийском заливе Японского моря, затонувшего 26 марта 2003 года, НТПА «Тайгер». Для осуществления поиска и обследования затонувшего вертолета на спасательном судне «Машук», был установлен ТНПА «Тайгер». Для обеспечения поиска и обследования контактов спасательное судно занимало назначенные точки, становясь на носовой и кормовой якоря. После постановке спасательное судно «Машук» в точке контакта, где по полученным данным находился вертолет, ТНПА «Тайгер», ориентируясь по данным гидролокатора, осуществил выход на полученный контакт, произвел визуальное обнаружение, обследование и опознание объекта как искомого. Были проведены видеосъемки вертолета, которые были использованы при подготовке его к подъему. 02 апреля была проведена остропка вертолета с помощью спасательного глубоководного аппарата (СГА). В это время ТНПА «Тайгер» находился вблизи объекта, осуществляя контроль за выходом спасательного глубоководного аппарата на объект с помощью гидролокатора. После взаимного визуального обнаружения СГА и ТНПА «Тайгер» контакт с объектом был передан и ТНПА отошел от вертолета. После подъема вертолета, в период с 05 по 09 апреля с помощью ТНПА «Тайгер» был осуществлен допоиск и подъем тел летчиков. Допоиск тел летчиков производился с помощью видеокамеры ТНПА в светлое время суток. Дальность видимости в воде составляла 3...5м. С помощью гидролокатора ТНПА было обнаружено несколько участков, на которых находились элементы разрушенных конструкций вертолета. Тела были обнаружены рядом с этими участками. Подъем тел производился с помощью манипулятора ТНПА «Тайгер».

2. Обследование подводного трубопровода на Черном море в 2003-2004 гг. С использованием ТНПА «Тайгер». С борта судна производился спуск ТНПА «Тайгер», который после достижения заданной глубины погружения проводил допоиск трубопровода и его обследование с использованием гидролокационной и видеоаппаратуры. В ходе обследования осуществлялось документирование видеoinформации на видеоманитофон, входящий в комплект аппаратуры ТНПА.

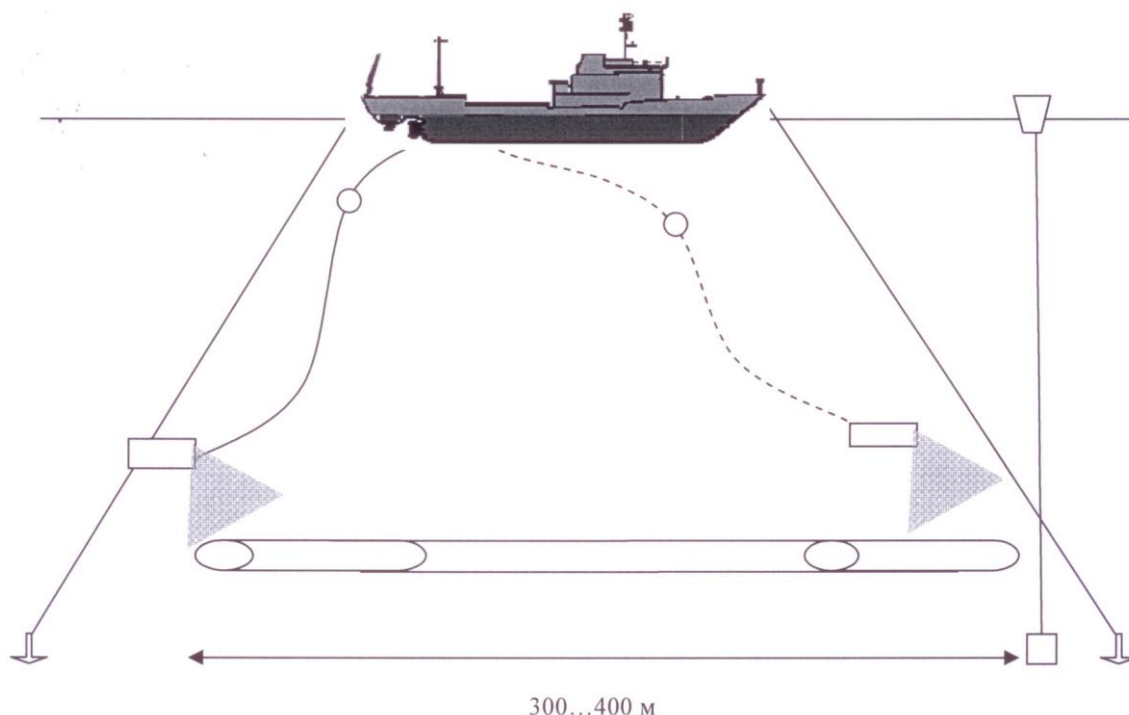


Рис. 1. Технология обследования трубопровода телеуправляемым аппаратом.

В ходе работ было обследовано 10 км. Трубопровода с производением видеозаписи для дальнейшего анализа и проведения работ по его обслуживанию и ремонту.

3. Поиск и подъем самолета ТУ-142 НЗ, потерпевшего катастрофу в ноябре 2009 года в Татарском проливе, с помощью НТПА «Тайгер», РТПА «Пантера», поискового комплекса «Кальмар»

4. Обеспечение работ по контролю за укладкой трубопровода пластовой воды на месторождении Арктун – Даги Сахалин – 1, с помощью НТПА «Тайгер» в 2011 году.

Выводы: Океанотехника – сравнительно молодая и интенсивно развивающаяся область, в основе которой существуют определенные технические традиции, общие тенденции и нерешенные проблемы. Достаточно сказать, что в создании и использовании автономных, телеуправляемых и буксируемых аппаратов, несмотря на некоторые сложившиеся общие подходы и технологии, нет пока законченной обоснованной теории, а также и общей практики решения различных задач. Мировой опыт в этом отношении довольно разнообразен, и в настоящее время в распоряжении специалистов имеется немало возможностей для обмена информацией по различным вопросам проектирования, разработки и эксплуатации аппаратов. Подводные аппараты обеспечивают проведение человеком широкого круга научно-исследовательских и подводно-технических работ на любых глубинах морей и океанов. Океанография, геология, изучение и освоение промыслов животного и растительного мира океана, разведка и разработка месторождений нефти и газа, прокладка и осмотр подводных трубопроводов и кабелей, контроль за загрязнением морей и океанов, аварийно-спасательные работы — вот далеко не полный перечень того, чем заняты сегодня подводные аппараты.

На основе постоянного анализа тенденций развития Подводно-технических средств в России и за рубежом ОАО «Тетис Про» регулярно проводит внутренние опытно-конструкторские работы, разрабатывает новые образцы подводной техники. Многолетний опыт инженерно-конструкторского коллектива позволяет успешно работать в кооперации с

крупнейшими разработчиками морской техники, такими как ОАО ЦКБ «Лазурит», ЗАО «Авиационная и морская электроника», ОАО ЦМКБ «Алмаз» и другими, в том числе в интересах силовых ведомств России, а также выполнять опытно-конструкторские работы по Государственному оборонному заказу. Все изделия собственного производства выпускаются в соответствии с государственными стандартами, техническими условиями, проходят проверку в испытательных лабораториях и успешно эксплуатируются в суровых российских условиях. По своим тактико-техническим показателям технические средства производства ОАО «Тетис Про» не уступают, а по некоторым параметрам превосходят зарубежные аналоги. Высокое качество продукции обеспечивается входным контролем поступающих материалов и комплектующих изделий, контролем соблюдения технологии производства и качества изделий в процессе производства, полным циклом испытаний.

НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НПА

А.А. Шувалов

Обособленное подразделение ОАО «Тетис Про» в г. Владивостоке
690065, г. Владивосток, ул. Леонова, 27, оф.5, тел.: (423) 27-91-005
e-mail: vlad-tetis@mail.ru

Представлен краткий обзор модельного ряда необитаемых подводных аппаратов, предлагаемых группой компаний «Тетис». Приводится перечень основных задач, решаемых с использованием ТНПА. Описаны принципы классификации НПА, даются краткие характеристики различных классов аппаратов, определены основные тенденции развития НПА.

Активное освоение океана развитыми странами мира диктует необходимость интенсивного проведения подводных работ как на малых и средних глубинах, так и глубоководных, на различных объектах и в различных условиях.

В настоящее время подводные работы – это комплекс работ с использованием широчайшего спектра технических средств. К числу таких средств относятся телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА).

Мировой опыт применения данных аппаратов говорит, что без использования ТНПА невозможно представить себе развитие нефтегазодобывающей отрасли в шельфовой зоне, проведение обследовательских работ в акваториях морей, океанов и на внутренних водах, осуществление спасательных и поисковых операций затонувших объектов, гидрографические и биологические исследования на всех глубинах мирового океана.

Современные самоходные НПА представляют собой отдельный класс робототехнических объектов с присущими им задачами, особенностями технологии, составом систем и функциональными свойствами.

Все самоходные НПА разделяют на два больших подкласса: неавтономные (привязные) НПА и автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). К неавтономным НПА относят буксируемые и самоходные привязные подводные аппараты.

Для неавтономных подводных аппаратов принципиально наличие проводного канала энергообеспечения и телеуправления (кабель-связки). В классе неавтономных НПА интерес вызывают самоходные аппараты (аппараты с движительной системой).

К автономным необитаемым подводным аппаратам (АНПА) относятся самоходные НПА с автономной системой энергообеспечения и, как правило, беспроводным каналом телеуправления и связи. НПА с автономной системой энергообеспечения, но с проводным каналом управления и связи (обычно на основе волоконно-оптической линии связи), составляют класс полуавтономных аппаратов.

По целевому назначению и особенностям технического оснащения неавтономные НПА разделяют на несколько классов:

- по массе аппарата: микро (масса менее <5 кг), мини (масса 5-30 кг), легкие (30-500 кг), средние (500-5000 кг) и тяжелые (более 5000 кг).

Класс подводных микроаппаратов (ПМА, micro ROV) сформировался относительно недавно и объединяет аппараты массой не более 5 кг. Как правило, ПМА предназначены для выполнения обзорно-поисковых работ на глубинах до 100-150 м.

Подводные малогабаритные аппараты (mini ROV) – это самоходные НПА с массой от 5 до 30 кг.

Аппараты основного класса предназначены для решения поисковых, инспекционных и осмотровых задач, выполнения легких механических работ в толще воды и проведения измерений параметров водной среды. Их типовые характеристики: максимальная рабочая глубина – до 3000 м (в большинстве проектов – до 1000 м); радиус действия (максимальное удаление от обеспечивающего судна) – 100-150 м (в редких случаях до 1000 м); скорость подводного хода – 1-2,5 узла, масса – от 20 до 350 кг.

Аппараты рабочего класса предназначены для решения широкого круга подводно-технических работ (аварийно-спасательных, поисковых, инженерно-строительных и ремонтных). Этот класс составляют НПА массой от 30 до 6000 кг с достаточно сложным навесным оборудованием.

Большинство развитых стран, в том числе Россия, уделяют особое внимание океанологическим исследованиям и оценке запасов минеральных и биологических ресурсов океана. В этих исследованиях все шире применяются ТНПА, оснащенные специальными измерительными устройствами.

В зависимости от задач ТНПА может быть оснащен системой датчиков для измерения гидрохимических, гидробиологических, гидрофизических параметров: температуры, солености, прозрачности, концентрации кислорода и фитопланктона, электропроводности и др.

В состав комплекса ТНПА входит гидроакустическая система позиционирования, позволяющая определять его местоположение в относительных координатах и с помощью космической навигационной системы на борту судна определять точные абсолютные координаты ТНПА и объектов исследований.

В состав дополнительного оборудования ТНПА помимо датчиков и систем сбора данных могут входить:

- гидролокатор кругового обзора, гидролокатор бокового обзора, профилемер, многолучевой эхолот,
- ультразвуковой толщиномер или дефектоскоп,
- датчик катодного потенциала,
- широкий спектр видеокамер с повышенной светочувствительностью и высокой разрешающей способностью (в том числе и с функцией зуммирования)
- лазерный измеритель размеров с возможностью масштабирования видеоизображений,
- лазерная система обнаружения утечек нефти,
- трассоискатель,
- манипуляторы 4-х, 5-ти, 6-ти или 7-ми функциональные,
- подводный электрический и гидравлический инструмент,
- инерциальная система навигации,
- специальное оборудование и датчики по запросу заказчика.

ОАО «Тетис Про» является ведущим отечественным разработчиком, производителем и поставщиком водолазного снаряжения, поисково-спасательного оборудования и средств проведения подводных работ для нужд Минобороны России, МЧС РФ, ФСБ РФ, Минтранса России, ОАО «Концерн «Росэнергоатом», ОАО «Газпром», ОАО «ГМК «Норильский никель», ОАО «Северсталь», ОАО «АК «Транснефть», ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» и др.

Нашей компанией поставлены Заказчику и введены в эксплуатацию более тридцати различных комплексов ТНПА различных классов.

ОАО «Тетис Про» представляет широкий спектр подводных необитаемых аппаратов от миниатюрных до мощных гидравлических систем.

Для выполнения обследовательских работ и обеспечения водолазных спусков разработан **миниатюрный ТНПА «Обзор-150»** предназначенный для выполнения осмотровых, обследовательских работ и проведения допоиска подводных объектов.

В ходе выполнения подводных работ ТНПА обеспечивает:

- 1) выполнение осмотровых, обследовательских и поисковых работ на глубинах до 150 метров;
 - 2) скорость перемещения:
 - в горизонтальном направлении не менее 3,5 узлов;
 - лаговое перемещение не менее 1,5 узлов;
 - в вертикальном направлении не менее 1,5 узлов.
 - 3) передачу цветного и черно-белого изображения на судно-носитель, с регистрацией его на видеомэгнитофон. Угол наклона видеокамеры изменяется в пределах $\pm 90^\circ$.
 - 4) обнаружение подводных объектов с помощью гидролокатора кругового обзора на дистанции от 2 до 100 метров с разрешающей способностью не хуже 50 мм.
- Система освещения включает регулируемый по мощности светильник 50 Вт. Могут быть установлены два дополнительных светильника по 20 Вт каждый.

ТНПА имеет манипуляторное устройство типа «схват» для выполнения подводно-технических работ.

Значительными преимуществами ТНПА «Обзор-150» являются малые массогабаритные характеристики и низкое энергопотребление. Его вес не превышает 11 кг, а потребляемая мощность 650 Вт.

ТНПА «Обзор-150» успешно прошел государственные испытания и поставляется на вооружение в подразделения поисково-спасательного обеспечения ВМФ.

Следующим примером миниатюрных аппаратов может служить телеуправляемый необитаемый подводный аппарата (ТНПА) «Seamog 300T» – подводный аппарат нового поколения, разработанный компанией Seamog Marine.

Подводные аппараты «Seamog» предназначены для эффективного выполнения подводных работ в прибрежных морских водах и открытых акваториях. ТНПА «Seamog» могут быть использованы при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений, а также обслуживания подводных плантаций, могут осуществлять батиметрическое, гидроакустическое и визуальное обследование участков морского дна, сбор образцов донного грунта, визуальное и гидроакустическое обследование элементов конструкций и трубопроводов, и т.п.

Одними из главных особенностей подводных аппаратов «Seamog» является простота конструкции, надежность в эксплуатации и взаимозаменяемость элементов по всей линейке подводных аппаратов, а также хорошая управляемость, мореходность и возможность установки широкого спектра навесного оборудования.

Технические характеристики ТНПА «Seamog 300T»

Рабочая глубина, м	до 300
Вес в воздухе, кг	20
Габаритные размеры, мм	472×355×355
Скорость подводного передвижения, узлы	
маршевая	3,0
вертикальная	2,0
Полезная нагрузка, кг	1,5
Источник электропитания: однофазная сеть переменного тока	220В, 50 Гц
Потребляемая мощность, кВт	0,75

К аппаратам легкого класса относится телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Фалкон» – аппарат, предназначенный для выполнения поисковых и обследовательских работ на глубинах до 1000 м, как в узких тоннельных проходах, так и на открытом морском пространстве.

ТНПА «Фалкон» оборудован 4 горизонтальными и 1-м вертикальным движителем. Пульт ручного управления содержит все необходимые элементы для изменения скорости, глубины и курса подводного аппарата и включает джойстик с тремя степенями свободы, ручку управления наклоном видеокамеры, ручку управления мощностью светильников, кнопки включения режимов «автопилот». Для питания системы ТНПА «Фалкон» достаточно однофазной сети переменного тока 220 В мощностью 3 кВт.

ТНПА среднего класса «**Тайгер**» и «**Линкс**» предназначены для поиска и обследования подводных объектов, составления карт (планшетов) районов выполнения подводных работ, поддержки работ, выполняемых обитаемыми подводными аппаратами и (или) рабочими телеуправляемыми подводными аппаратами, поддержки подводно-технических работ, выполняемых водолазами.

ТНПА имеют рабочие глубины 1000 м и 1500 м, применимы в суровых условиях и при сильных течениях демонстрируют высокие показатели управляемости и маневренности, что является наиболее важным преимуществом по сравнению с аналогами. Данные характеристики достигаются применением уникальных мощных движителей, имеющих привод от бесщеточных электродвигателей постоянного тока. Аппарат уверенно работает на морских течениях, не имеет инерции при изменении скорости и направления движения, устойчив на курсе и по глубине, как в ручном, так и в автоматическом режиме движения.

Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) «**Сабфайтер7500**» и «**Сабфайтер 30К**» предназначены для проведения подводно-технических работ и мониторинга водной среды. Данные аппараты имеют конструкцию на базе «открытой» несущей рамы, что позволяет уменьшить гидродинамическое сопротивление при движении в горизонтальном направлении, а также облегчает доступ к комплексу навесного оборудования. Система просто и быстро приводится в состояние готовности к использованию и имеет высокую надежность работы.

Рабочий гидравлический телеуправляемый необитаемый аппарат «**Квазар компакт**» предназначен для поиска и обследования подводных объектов, выполнения широкого круга подводно-технических работ в нефтегазовой отрасли, как самостоятельно, так и совместно с водолазами и (или) обитаемыми подводными аппаратами.

Аппарат «**Квазар компакт**» занимает промежуточное положение между РТПА с электроприводом и РТПА с гидравлическим приводом.

Рабочий ТНПА модульного типа «**Кугуар**» – предназначен для выполнения сложных подводных работ на глубинах до 2000 метров.

ТНПА «Кугуар» представляет собой новейшую разработку, и, в отличие от предыдущих моделей имеет модульную конструкцию, что позволяет использовать его в двух режимах:

- поисково-обследовательского телеуправляемого подводного аппарата (ТНПА);
- рабочего телеуправляемого подводного аппарата.

Рабочий ТНПА «**Пантера Плюс**» – предназначен для выполнения сложных подводных работ на сильных течениях на глубинах до 1000 метров.

Подводный аппарат специально предназначен для выполнения всего спектра подводно-технических работ (ПТР), в том числе и без использования водолазов, при строительстве и обслуживании буровых и добывающих платформ, прокладке трубопроводов.

Особенностями модели является использование более мощных движителей, обеспечивающих повышенную устойчивость и управляемость подводного аппарата, а также способность нести полезную нагрузку до 100 кг.

Подводный аппарат может быть оборудован одновременно большим спектром дополнительных устройств.

Рабочий телеуправляемый необитаемый аппарат **«Квантум»** является мощным РТПА предназначенным для тяжелых подводно-технических работ в т.ч. строительных на глубинах до 3000 м.

Имеет мощность 150 кВт и способен нести полезную нагрузку до 200 кг.

Рабочие телеуправляемые необитаемые аппараты **«Кварк»** и **«Атом»** предназначены для поиска и обследования подводных объектов, выполнения широкого ряда подводно-технических работ в нефтегазовой отрасли, как самостоятельно, так и совместно с водолазами и (или) обитаемыми подводными аппаратами.

Являются рабочими аппаратами с гидроприводом, способными выполнить широкий круг подводно-технических работ.

Основным преимуществом данных аппаратов являются малые габаритные размеры при сохранении всех преимуществ гидравлических РТПА.

Глубоководный рабочий телеуправляемый подводный аппарата **«Ягуар»** – аппарат нового поколения, предназначенный для выполнения сложных подводных работ на сильных течениях на глубинах до 3000 м.

Возможно изготовление аппарата для глубин до 6000 м.

«Ягуар» является самым крупным и мощным аппаратом в линейке электрических аппаратов.

Таким образом, в настоящее время наблюдается активное развитие ТНПА как эффективного средства выполнения подводно-технических работ.

Анализ возможностей, тактико-технических характеристик и опыта использования ТНПА, позволяет определить следующие основные тенденции их развития:

- модульное исполнение ТНПА и наличие модификаций для работы на различных рабочих глубинах;
- повышение маневренных характеристик ТНПА и наличие в составе оборудования систем навигации, автоматического удержания курса, стабилизации по глубине, крену, дифференту, а также эхолота, гидролокатора секторного обзора;
- возможность размещения дополнительного оборудования на ТНПА и его комплектация по конкретную задачу.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСОВ АВТОНОМНЫХ И ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

А.А. Кайфаджян, А.О. Ткаченко

ОАО «Тетис Про»

Москва, район Южное Бутово, ул. Поляны, 54,
Департамент подводно-технического оборудования,
тел.: (495) 786-98-55, факс: (495) 717-38-21,
e-mail: tkachenko@tetis-pro.ru, www.tetis-pro.ru

Сделан обзор современных гидроакустических приборов входящих в состав автономных и телеуправляемых необитаемых аппаратов. Даны примеры использования гидроакустических средств и специального программного обеспечения для организации бортового навигационного комплекса автономных и телеуправляемых необитаемых аппаратов.

Решение государственных задач обеспечения энергетической безопасности и национальных интересов в борьбе за морские ресурсы обусловлено использованием современных подводных технологий, средств и систем. Значительная удаленность от берега, большая рабочая глубина, суровые климатические условия, сложность рельефа дна сильно ограничивают возможность использования водолазов и традиционных видов подводной техники. Для проведения работ в таких условиях наиболее перспективным является применение телеуправляемых (ТНПА) и автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА).

Очевидно, что в наступившем веке работа под водой – это функция робототехнических систем. За последнее десятилетие в мировой практике развития передовых подводных технологий. произошли значительные положительные сдвиги в области энергетики, микроэлектроники, механотроники, информационных технологий. Современные управляющие системы вышли на качественно новый этап развития, характеризуемый применением новейшей микропроцессорной элементной базы и созданием на ее основе автономных, интеллектуальных, роботизированных систем.

Возросшие технические возможности современных подводных автономных и телеуправляемых аппаратов позволяют производить:

- поисково-обследовательские работы, включая поиск и обследование затонувших объектов, инспекцию подводных сооружений и коммуникаций, трубопроводов, кабелей;
- геологоразведочные работы, включающие фото и видеосъемку, акустическое профилирование и картографирование рельефа дна;
- подледные работы, в том числе прокладка трубопроводов и кабеля, обслуживание систем наблюдения и освещения подводной обстановки;
- океанографические исследования, мониторинг водной среды;
- работы военного назначения, включая противоминную борьбу, противолодочную разведку, поиск аварийной подводной лодки лежащей на грунте, патрулирование и обеспечение безопасности акваторий, имитацию подводных акустических целей.

Гидроакустические приборы давно вошли и прочно закрепились в составе оборудования ТНПА и АНПА. Современные подводные телеуправляемые аппараты, как правило, оснащаются гидролокатором кругового обзора, альтиметром и звуковизором, автономные необитаемые аппараты, оснащаются впередсмотрящим гидролокатором, гидролокатором бокового обзора, доплеровским измерителем скорости в комплексе с инерциальной навигационной системой, гидроакустическим модемом и гидроакустической системой навигации с длинной или ультракороткой базой.

Гидроакустические приборы используются для решения следующих задач:

- навигация ТНПА в условиях плохой видимости (звуковизоры и ГКО);
- определение и отображение на борту обеспечивающего судна текущего местоположения аппарата в условиях мелкого и глубокого моря (доплеровский лаг с ИНС, ГАНС, г/а модем);
- безопасное плавание и выполнение поставленных задач вблизи дна и донных препятствий (впередсмотрящий гидролокатор, многолучевые системы);
- управление ходом выполнения поставленных задач с борта судна и получение на борту судна необходимой информации о состоянии систем аппарата (г/а модем);
- высокоскоростной обмен информацией в группировке автономных аппаратов между собой и судном по гидроакустическому каналу связи (г/а модем);
- системы сбора данных (ГБО, многолучевые эхолоты, профилемеры, ИГБО, ГБО с синтезированной апертурой).

В результате развития технологий удалось создать компактные гидроакустические системы с высокими быстродействием и разрешающей способностью, акустические видеокамеры или звуковизоры. Данные устройства представляют собой миниатюрные многолучевые гидролокаторы, работающие на высокой частоте (от 450 кГц до 1 МГц), скорость обновления изображения составляет до 25 кадров/секунду. Дальность работы данных устройств может составлять десятки метров. Звуковизор Gemini 720i показал способность демонстрировать приемлемое качество акустического изображения на дальности до 120м. Малый вес и габаритные размеры делают его идеальным выбором для установки на АНПА и ТНПА.

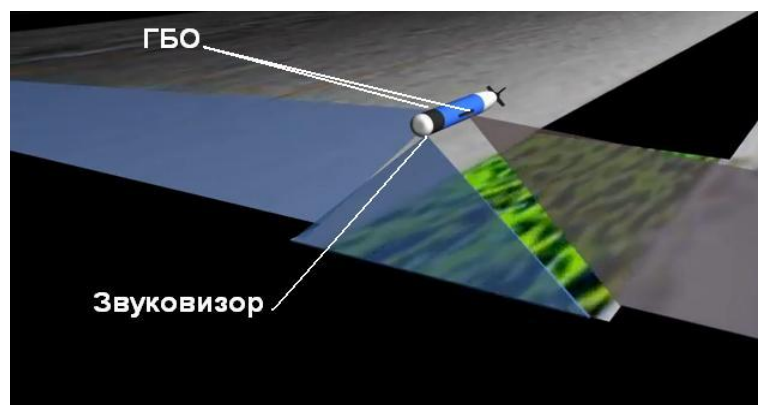


Рис. 1. Использование звуковизора для заполнения слепой зоны при проведении гидролокационной съемки

Развитие подводных заводов для первичной очистки добываемых нефтепродуктов предполагает длительное нахождение автономных и телеуправляемых подводных аппаратов под водой, что подразумевает их стыковку к подводной доковой станции для передачи команд управления, загрузки новой миссии, получения собранных аппаратом данных и подзарядки аккумуляторных батарей. Использование доковых станций требует от средств навигационного обеспечения высокой точности позиционирования. В режиме автоматического докования используются системы технического зрения. В состав системы технического зрения могут входить разнообразные устройства, обеспечивающие обзор и съемку дна, а также обработку визуальной информации, необходимой для управления аппаратом. Визуальная информация представляется в виде акустических или видеоизображений и при работе в реальном масштабе времени используется системой управления. Развитие автоматизации позволяет создавать системы, делающие процесс управления аппаратом интуитивно простым и доступным, что позволяет пилоту больше сконцентрироваться на выполнении рабочих задач, нежели на управлении аппаратом.

Использование систем динамического позиционирования делает управление ТНПА безопаснее, более стабильным и простым. Английская компания SeeBite разработала специальное программное обеспечение SeeTrack Offshore решающее задачу динамического позиционирования ТНПА. Программное обеспечение SeeTrack Offshore разработано с использованием модульной архитектуры и многоуровневым интерфейсом, который может быть адаптирован к любым уже существующим ТНПА соответствующего размера, дополнив их лишь инерциальной системой с доплеровским лагом. Многоуровневый интерфейс, связывает поверхностный блок управления и навигационные датчики, такие как доплеровский измеритель скорости (Teledyne RDI Workhorse Navigator), датчик курса и датчик глубины, эхолот, а также звуковизор (BlueView). Данные на полученные от этих сенсоров служат входной информацией для модуля автопилота, который в свою очередь управляет положением ТНПА, как того требует пилот или задание.

Свойства программы SeeTrack CoPilot:

- режимы работы: автоматический, полуавтоматический, ДП;
- оптимальное управление в любых условиях, включая подстройку на изменение полезной нагрузки;
- выполнение заранее спланированной миссии. Идеально подходит для проведения гидрографической съемки;
- выполнение автоматического инспектирования , опор, протекторов, райзеров и якорных цепей.

Ниже приведена сравнительная таблица в которой указаны отклонения от заданного положения при управлении ТНПА пилотом и программой (режим ДП).

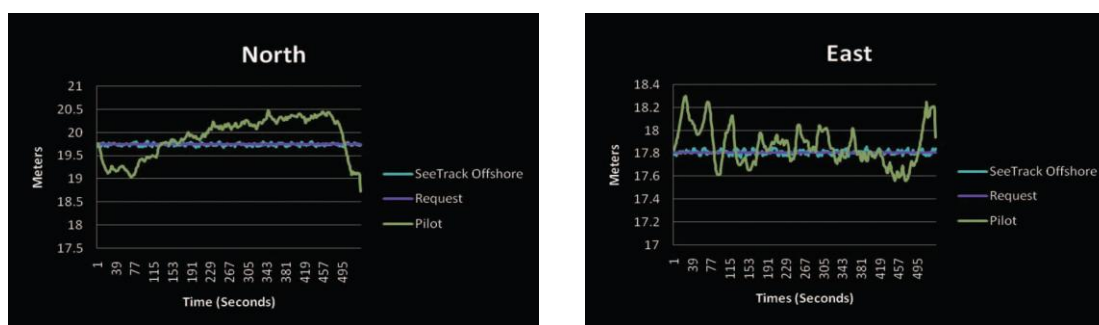


Рис. 2. Графики управления ТНПА пилотом и программой SeeTrack CoPilot

Таблица отклонений при управления ТНПА пилотом и программой SeeTrack CoPilot

	Север (метры)		Восток (метры)		Глубина (метры)		Курс (градусы)	
	SeeTrack	Пилот	SeeTrack	Пилот	SeeTrack	Пилот	SeeTrack	Пилот
Стд.отк	0.0251	0.4336	0.0174	0.1681	0.0690	0.1752	0.4548	3.3436
Ср.квад	-0.0050	0.1430	0.0002	0.0593	0.2820	0.3718	-0.2253	-4.2526

Другой продукт разработанный компанией Seebyte: это модуль AutoTracker , который уже прошел успешные испытания на АНПА GAVIA. Модуль позволяет АНПА в автоматическом режиме проводить поиск и осмотр трубопроводов и обеспечивая поддержание постоянной дистанции между АНПА и трубопроводом, используя информацию, получаемую от установленных на борту АНПА звуковизора (фотокамеры) и гидролокатора бокового обзора. В 2006 г. установлен рекорд, аппарат автономно прошел по трубе 22,2 км.

Гидроакустические модемы используются на АНПА для управления ходом выполнения работы с борта судна, получения информации о состоянии систем АНПА и обеспечивают высокоскоростной обмен информацией между АНПА и судном по гидроакустическому

каналу связи. Отличные результаты показывают гидроакустические модемы компании EvoLogics. Высокая скорость передачи данных позволяет передавать большие объемы информации.



Рис. 3. Гидроакустический модем и система позиционирования в одном приборе

Например, файлов содержащих фотоизображения или данные получаемые от гидролокатора бокового обзора на большие расстояния, что создает предпосылки для создания подводных информационных сетей. Кроме того, некоторые модели могут одновременно с передачей данных выполнять еще и функции системы позиционирования, предоставляя надежную связь и позиционирование даже в самой сложной гидроакустической обстановке, отслеживая при этом до 255 целей. Точность измерения дистанции до медленно движущегося АНПА 1.5 см, быстродвижущегося – 5-10 см, 0.5 в зашумленной среде 0.15 в хорошей акустической обстановке. Основываясь на восьмилетнем исследовании физики связи дельфинов, EvoLogics разработала и запатентовала технологию передачи данных под водой Sweep Spread Carrier (S2C). Технология S2C, используемая в этих модемах, являет собой настоящий прорыв в подводных коммуникациях и позиционировании, демонстрирует отличную производительность, малое запаздывание, легкость интеграции, высокую точность и надежность, так необходимые для использования на АНПА.

Обращает на себя внимание многолучевой эхолот Sonic2024 американской фирмы R2Sonic, устанавливаемый на АНПА Double Eagle MKII в качестве впередсмотрящего гидролокатора. Это первый многолучевой эхолот с изменяемым в процессе работы от 200кГц до 400кГц диапазоном частот. Кроме режима многолучевого эхолота (256 фокусированных 0.5°-1° лучей), данный гидролокатор имеет опцию – режим снипсетов в котором отображаются амплитуды отраженного сигнала на каждом луче, удаляясь от излучателя лучи взаимно перекрывают друг друга. При последующем суммировании полученных по каждому лучу данных получается изображение аналогичное изображению ГБО. Еще одна опция R2Sonic, это работа в режиме впередсмотрящего эхолотатора, позволяющая различать объекты, находящиеся в толще водяного столба. Кроме вышеперечисленных режимов имеется возможность оперативно изменять полосу обзора в диапазоне от 160° до 10° и электронным способом менять направление обзора в пределах сектора 160°, что позволяет проводить съемку опор причалов и береговой линии, получать профиль каналов и рек.

На АНПА GAVIA для проведения батиметрической съемки устанавливается ИГБО SwathPlus. Малые габариты и широкая полоса охвата, главные преимущества интерферометрических ГБО по сравнению с многолучевыми системами. Система очень

эффективна на мелководных участках и внутренних водоемах, так как ширина обзора составляет 12 значений глубины, а количество глубин, получаемых за один «пинг», достигает 5 тысяч.

Новым словом в развитии гидроакустических приборов для АНПА стала новейшая разработка канадских ученых, так называемый Software Defined Sonar (SDS) или Программно-Определяемый Сонар, в котором все или некоторые функции физического уровня задаются программно. Традиционные конструкции гидроакустических приборов ограничивают их многофункциональное использование, изменение их параметров зачастую требует физического вмешательства в конструкцию. Технология SDS обеспечивает эффективное и сравнительно недорогое решение этой проблемы, позволяя использование гидроакустического прибора в разных режимах, в широкой полосе частот от 1 кГц до 1.25 МГц, делая его многофункциональным прибором. SDS является высокопроизводительной, с динамически изменяемой частотой акустической приемопередающей антенной, которая может иметь от 16 до 2048 высокоскоростных (до 20 МГц) каналов с 24 битным аналогово-цифровым преобразованием. Программно-центрический дизайн объединяет гибкость программируемых цифровых сигнальных процессоров (DSP) с реконфигурируемой логикой программируемых интегральных схем ПЛИС (FPGA). Использование данной технологии позволяет наделить уже существующие гидроакустические системы новыми свойствами и возможностями, не меняя при этом существенно их аппаратной части. Военное применение АНПА подразумевает их использование для решения задачи поиска и обнаружения мин лежащих на дне и мин находящихся в толще водяного столба. Для этих целей используются гидролокаторы бокового обзора с синтезированной апертурой. Канадская компания Marport Deep Sea Technologies анонсировала новый, построенный на вышеописанной технологии SDS, интерферометрический сонар с синтезированной апертурой AquaPix. Имея конкурентную по сравнению с существующими аналогами цену, AquaPix устанавливает новый стандарт высокоскоростных изображений высокого разрешения. Сонар с частотой изменяемой в диапазоне от 200 до 400 кГц, дает независимое от удаления разрешение 2.5 см на 2.5 см, по всей полосе обзора, наряду с сопутствующими данными батиметрии. Эффективная полоса охвата составляет 12 значений глубины на мелководе, максимальным значением до 600 м. Данная полоса обзора как минимум вдвое больше чем у известных на данный момент гидролокаторов бокового обзора высокого разрешения. Широкий динамический диапазон и исключительное качество изображения, в интеграции с системой распознавания образов на борту АНПА система AquaPix является идеальным средством противоминной борьбы. Сонар с синтезированной апертурой, является сонаром в котором используется обработка последовательности посылок сигналов сложной формы для формирования изображения высокого разрешения по сравнению с обычными ГБО. Для формирования изображения система выстраивает отражения с точностью менее чем 0.1 мм. Это стало возможным благодаря одновременному использованию преимуществ широкополосных гидролокаторов и техники адаптивного фокусирования, похожей на ту, что используется в оптике, но в данном случае реализованной с помощью программных средств. Новейшие сонары с синтезированной апертурой обеспечивают площадь покрытия в несколько квадратных километров в час, предоставляя при этом данные имеющие сантиметровую точность, что дает возможность получать изображения близкие по качеству к оптическим фотографиям, обеспечивая четкое автоматическое распознавание миноподобных объектов в реальном режиме времени. Кроме того, сонар с синтезированной апертурой может предоставлять высокоточную оценку о скорости АНПА относительно морского дна, что может быть использовано для ограничения дрейфа инерциальной навигационной системы и ее уточнения, обеспечивая высокоточные данные о положении АНПА под водой.

В заключении следует отметить, что развитие современных гидроакустических систем для использования на подводных аппаратах направлено на снижение их массогабаритных характеристик, создание нового программного обеспечения, создание скоростных систем обработки данных с использованием цифровых сигнальных процессоров программируемых логических интегральных схем. Новые технологии обработки сигналов позволяют передавать большие объемы данных на большие расстояния с высокой скоростью, что является предпосылкой для создания подводных информационных сетей, различного назначения. Повышается многофункциональность и универсальность гидроакустических приборов.

В работе использованы первоисточники:

1. <http://www.tritech.co.uk/www.tritech>
2. <http://www.marport.com>
3. http://www.evologics.de/en/products/acoustics/S2CR_USB_L_Modem.html
4. <http://www.gavia.is>
5. <http://www.seebyte.com>
6. <http://www.tetis-pro.ru>

МАЛОГАБАРИТНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ МТ-2010

А.А. Борейко, В.Е. Горнак, С.В. Мальцева, Ю.В. Матвиенко, Д.Н. Михайлов

Институт проблем морских технологий ДВО РАН
690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (4232) 432416,
e-mail: ymat@marine.febras.ru

В докладе сообщается о создании и испытаниях российского глубоководного малогабаритного многофункционального автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) МТ-2010, разработанного в ИПМТ ДВО РАН. Пилотный образец аппарата, получивший имя «Пилигрим», был поставлен для МЧС РФ. В новом аппарате развиты идеи и технологии, ранее апробированные при разработке АНПА ММТ-3000 [1].

1. Общие технические характеристики АНПА МТ-2010 (рис. 1)

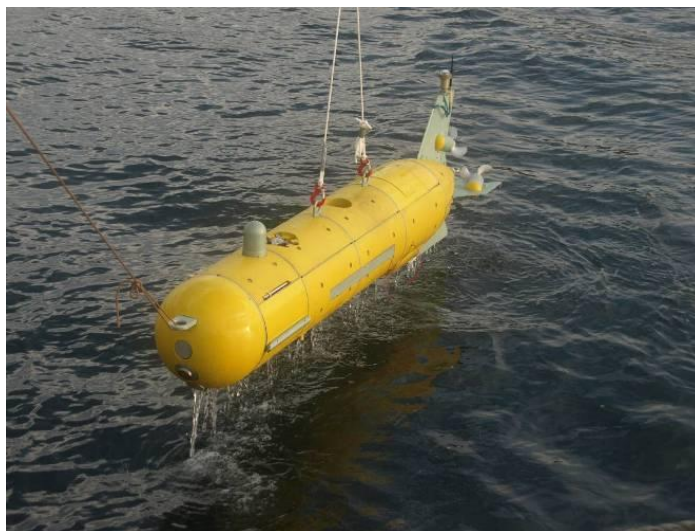


Рис. 1. АНПА МТ-2010

Основные области использования:

- картографирование рельефа дна;
- выполнение обзорной гидролокационной и фотосъемки морского дна;
- проведение поисковых операций;
- обследование донных сооружений, магистральных трубопроводов, подводных кабелей, портовых акваторий;
- мониторинг морской среды, включая места захоронения химических и взрывчатых веществ;
- обследование подводных потенциально опасных объектов;
- геологическая разведка полезных ископаемых на дне и в толще грунта;
- фотосъемка выделенных участков поверхности дна и подводных объектов.

Особенности АНПА:

- использование в автоматическом режиме по заданной программе;
- оперативный контроль и управление ходом работ с борта носителя по гидроакустическому каналу;

- высокая маневренность, возможность выполнения работ в сложном рельефе и при наличии препятствий;
- интеллектуальная бортовая система управления;
- высокая производительность поискового оборудования и большая зона покрытия в ходе одного пуска АНПА;
- доставка синхронных данных гидролокационной съемки дна, донного профилографа, фотосистемы, батиметрических, гидрофизических и других измерений, накопление данных в течение миссии и их привязка к географическим координатам по маршруту следования;
- возможность выхода в назначенную точку с выполнением работ по дообследованию обнаруженных целей;
- возможность расширения базовой комплектации и установки дополнительного оборудования и датчиков;
- возможность перебаластировки для работы в морских, речных и озерных водоемах;
- транспортабельность любыми видами транспорта;
- возможность модификации АНПА по требованиям заказчика;
- конструкции и системы АНПА защищены 9 поддерживаемыми патентами РФ.

Состав базовой комплектации:

- АНПА;
- судовой пост управления и связи;
- судовая гидроакустическая антенна;
- комплект донных маяков ответчиков ГАНС;
- комплект вспомогательного оборудования;
- комплект ЗИП и комплект эксплуатационной документации.

Технические характеристики (рис. 2):

- максимальная рабочая глубина – 3000 м;
- масса ~ 300 кг;
- габариты – Ø 0,45 × 3,0 м;
- скорость – 0-2,5 м/с;
- автономность ~ 20 час (пробег ~ 100 км);
- энергетика: батарея литий-ионных аккумуляторов емкостью 2,6 кВт×час;
- поисково-измерительное оборудование (базовая комплектация):
 - двухчастотный гидролокатор бокового обзора (НЧ и ВЧ ГБО),
 - цифровая фотосистема,
 - донный профилограф,
 - датчики гидрофизических параметров среды;
- навигационное оборудование (базовая комплектация):
 - приемник GPS,
 - доплеровский лаг (ДЛ),
 - датчики глубины, курса, крена, дифферента, угловых скоростей,
 - многоканальная эхолотационная система,
 - гидроакустическая навигационная система с длинной и ультракороткой базой,
 - система комплексирования навигационных данных, обеспечивающая абсолютную ошибку не более 10 м;
- связь:
 - радиомодем,
 - система гидроакустической телеметрии и телеуправления.

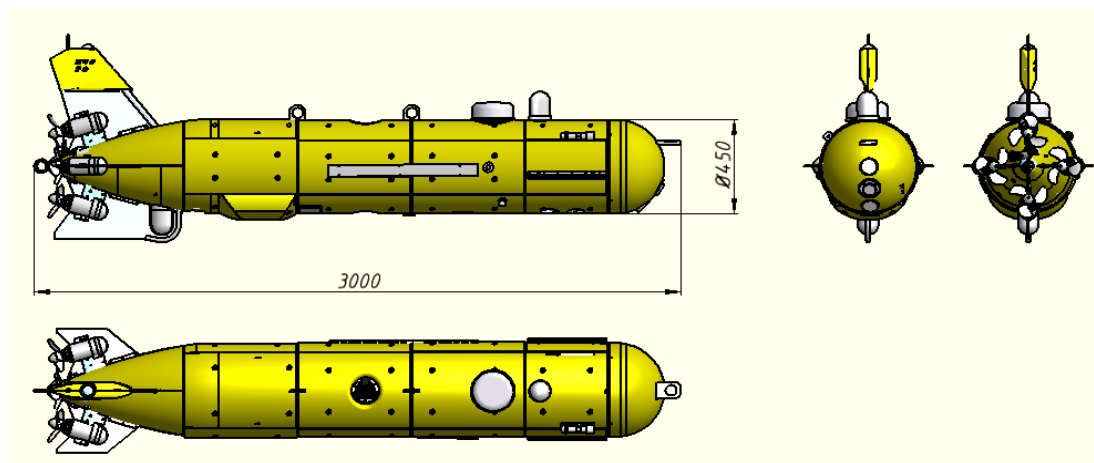


Рис. 2. Конфигурация и размеры АНПА МТ-2010

2. Основные сведения об устройстве АНПА МТ-2010

От своего предшественника, АНПА ММТ-3000, новый аппарат отличается конфигурацией движительно-рулевого комплекса, включающего четыре кормовых ходовых движителя и один вертикальный подруливающий, расширенным составом оборудования и более совершенными технологиями работы и обслуживания. Устройство и размещение основных систем в составе АНПА поясняется рис. 3.

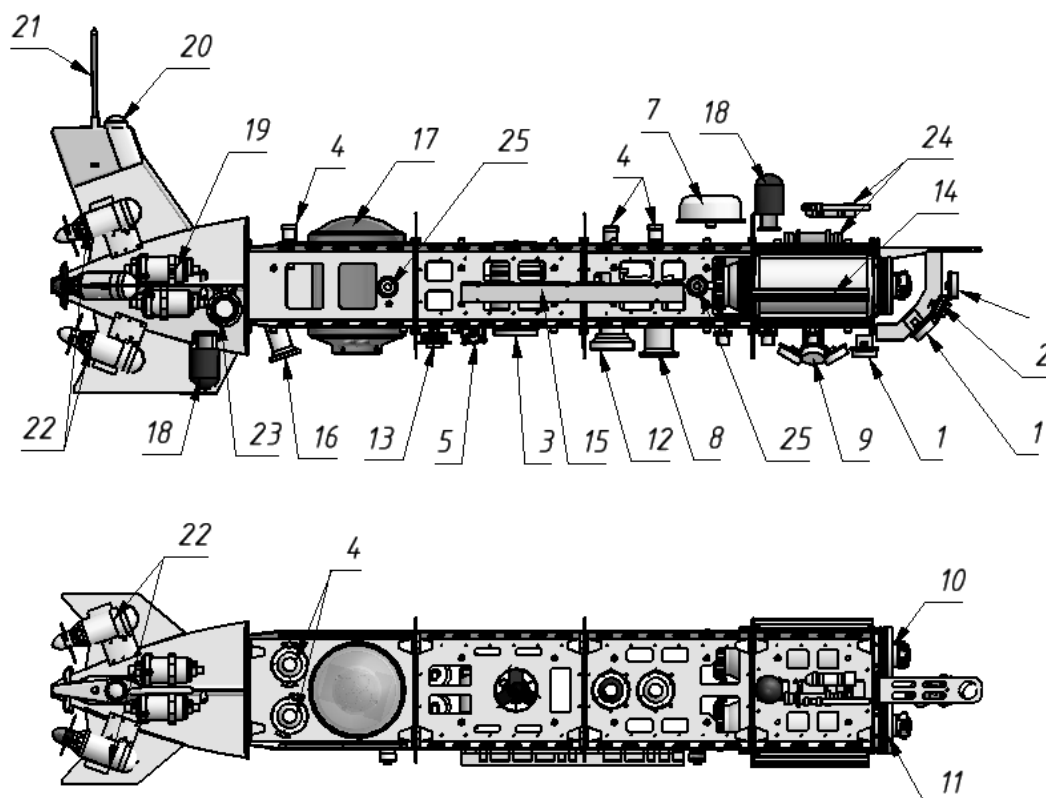


Рис. 3. Расположение основных систем АНПА МТ-2010. 1 – антенны ЭЛС, 2 – электромагнит балласта погружения, 3 – вертикальный подруливающий движитель, 4 – компенсатор давления, 5 – БУД, 6 – датчик глубины, 7 – антенна УКБ ГАНС, 8 – цифровая фотокамера, 9 – антенны доплеровского лага, 10 – контейнер СПУ, 11 – контейнер ИИК, 12 – антенна профилографа, 13 – электромагнит аварийного балласта, 14 – антенна ГБО ВЧ, 15 – антенна ГБО НЧ, 16 – светильник импульсный, 17 – контейнер АКБ, 18 – антенна ГАНС ДБ, 19 – БУД, 20 – СНС, 21 – антенна радиомодема, 22 – двигатель маршевый, 23 – контейнер радиомодема, 24 – измеритель параметров среды, 25 – внешние разъемы

Взаимодействие устройств на программно-аппаратном уровне в составе АНПА, их контроль и управление реализуется на базе локальной вычислительной сети (ЛВС). В общей структуре ЛВС выделены базовые системы, обеспечивающие функционирование АНПА как носителя аппаратуры, и информационно-поисковые системы (рис. 4).

Организирующим ядром базовых систем является ведущий компьютер (автопилот), обеспечивающий управление движением, контрольно-аварийные и поисковые функции. Для формирования управления используется набор пилотажных датчиков и эхолокационная система (ЭЛС), а для обеспечения безопасности служат аварийные датчики. Движение организуется с помощью движительно-рулевого комплекса. Дистанционное изменение миссии АНПА может осуществляться через гидроакустическую систему связи. Данная система также используется для оперативного получения данных о текущем состоянии АНПА. Системы поиска используются для обнаружения АНПА на поверхности после окончания выполнения работ.

Навигация АНПА обеспечивается средствами как бортовой (магнитный компас и доплеровский лаг) так и гидроакустической навигационной системы. Точность определения координат достигается за счет комплексирования информации бортовой и судовой навигации путем активного информационного обмена навигационными данными. При работе АНПА накапливающаяся ошибка счисления пути может быть ликвидирована за счет комплексирования данных бортовой системы навигации и гидроакустической навигационной системы (ГАНС). Для этих целей может быть использована информация о дальностях и пеленгах, получаемая от ГАНС с ультракороткой базой (ГАНС УКБ).

АНПА оснащен акустическим профилографом и гидролокаторами бокового обзора, цифровой фотосистемой, а также датчиками температуры и электропроводности. Данные устройства подключены к отдельному компьютеру для анализа, обработки и записи информации.

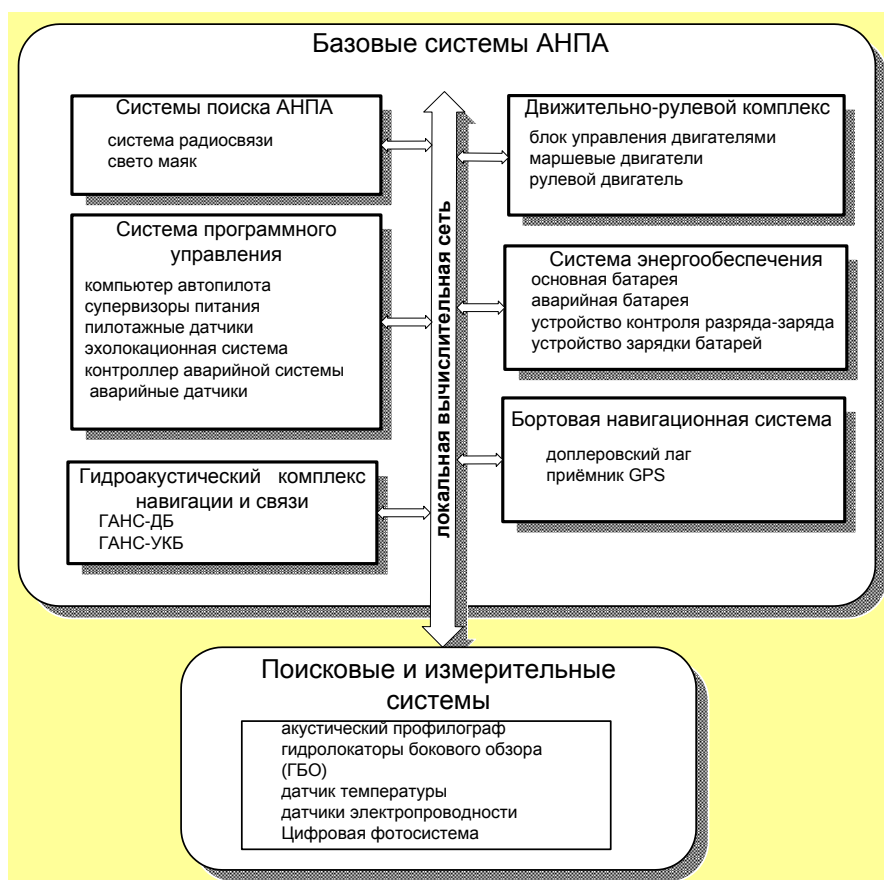


Рис. 4. Общая структура системы управления АНПА

3. Результаты испытаний и технические характеристики оборудования

Бортная система управления

В ходе натурных испытаний системы управления тестировалась работа всех бортовых устройств, оценивались динамические характеристики носителя, энергопотребление на различных скоростях хода, Динамика характеристик стабилизации по глубине/высоте проверялась при зависании АНПА и в крейсерском режиме движения на скоростях 1,0 и 1,5 м/с. Ошибка стабилизации составила:

+0,05/-0,02 м (по глубине), $-7^\circ (\pm 0,4)$ (по дифференту) в режиме позиционирования, скорость 0,10 – 0,17 м/с ;

+0,05/-0,02 м (по глубине), $+0,1/-0,7^\circ$ (по дифференту) в крейсерском режиме, заданная скорость 1,0 и (1,5) с ошибкой $\pm 0,04$ м/с.

Энергопотребление АНПА «Пилигрим» на различных режимах движения:

Режим движения	Общий ток потребления
Заданная скорость 1 м/с, работает ВЧ ГБО Реальная скорость по ДЛ 1,05 м/с.	4,7 А при 26,4 В
Заданная скорость 1,5 м/с, работает ВЧ ГБО Реальная скорость по ДЛ 1,54 м/с.	10,2 А при 26,3 В
Заданная скорость 2,0 м/с, работает ВЧ ГБО Реальная скорость по ДЛ 2,18 м/с.	23,3 А при 25,75 В
Заданная скорость 2,5 м/с, работает ВЧ ГБО Реальная скорость по ДЛ 2,65 м/с.	42 А при 25,4 В

Поисково-измерительное оборудование

АНПА оснащен двухчастотным гидролокатором бокового обзора с техническими характеристиками:

- низкочастотный ГБО:
 - частота – 80 кГц,
 - полоса обзора – 2×375 м,
 - разрешающая способность по дальности и углу – 0,4 м и 1,5 град.,
 - производительность – 4 км²/час.
- высокочастотный ГБО:
 - частота – 500 кГц,
 - полоса обзора 2×70 м,
 - разрешающая способность по дальности и углу – 0,05 м и 0,5 град.,
 - производительность – 0,7 км²/час.

При проведении испытаний ГБО АНПА двигался на высоте от 5 до 10 м над дном вдоль ряда ранее установленных целей с известными координатами и геометрическими размерами.

В качестве гидролокационных целей были использованы металлоконструкции в виде цилиндров различной длины с внешним диаметром $\varnothing = 0,53$ м (рис. 5).

- Донный профилограф:
 - глубина прозвучивания грунта до 30 м,
 - разрешение 0,3 м,
 - производительность – около 150 000 м²/час.

При тестировании профилографа использовался режим зондирования донной поверхности импульсными ЛЧМ сигналами длительностью 5 мсек, полоса частоты излучения 4-11 кГц. АНПА двигался на глубине 4м, На рис.6., представлены фрагменты профилографической съемки.

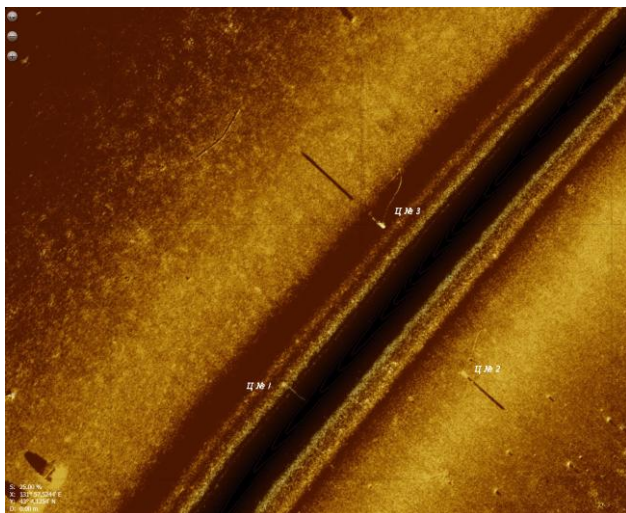


Рис. 5. ГБО-съемка выставленных целей

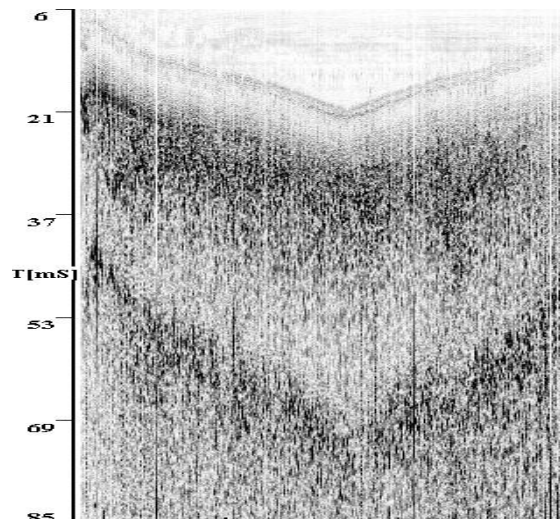


Рис. 6. Профилограмма дна по маршруту движения АНПА

- Цифровая фотосистема:
 - цветное или черно-белое изображение,
 - разрешение – 1392×1040 точек,
 - фотосъемка во всем диапазоне глубин на расстоянии 1,5-3 метра от объекта,
 - период съемки 3 сек.,
 - производительность – до 10000 м²/час.

Съемка проводилась в режиме JPG, АРУ, период 3 с, заданная высота 3 м и 5 м. Примеры изображений приведены на рис. 7.



Рис. 7. Результаты работы фотосистемы

Навигационный комплекс АНПА

Работа навигационного комплекса поддерживается судовыми средствами, входящими в состав поста навигатора АНПА, и предполагает использование в необходимых случаях комплекта возвращаемых донных маяков-ответчиков ГАНС. Навигационный комплекс обеспечивает:

- определение вектора абсолютной скорости АНПА с помощью ДЛ при движении со скоростью от 0 до 3 м/с на высоте от 0,5 до 70 м с точностью 0,02 м/с;
- определение углового положения и дальности АНПА по отношению к обеспечивающему судну (ОС) на дистанциях не менее 3 км;

- комплексирование информации от комплекта навигационно-пилотажных датчиков, ДЛ, датчика глубины, ГАНС, а также GPS (на поверхности), и определение результирующего местоположения АНПА в географических координатах;
- оперативное отображение текущего местоположения АНПА на мониторе поста навигатора, отображение текущих параметров хода выполнения миссии (курс, скорость, глубина, высота над дном и др).

Состав навигационного оборудования БНС АНПА «Пилигрим»: магнитный компас МТІ Xsens с встроенными датчиками крена, дифферента и угловых скоростей, доплеровский лаг (ИПМТ), датчик глубины (ИПМТ), ЭЛС (ИПМТ), ДБ ГАНС в составе трех маяков ответчиков (ИПМТ), GPS Trimble Navigation.

Траектория АНПА во время выполнения контрольных галсов приведена на рис. 8.

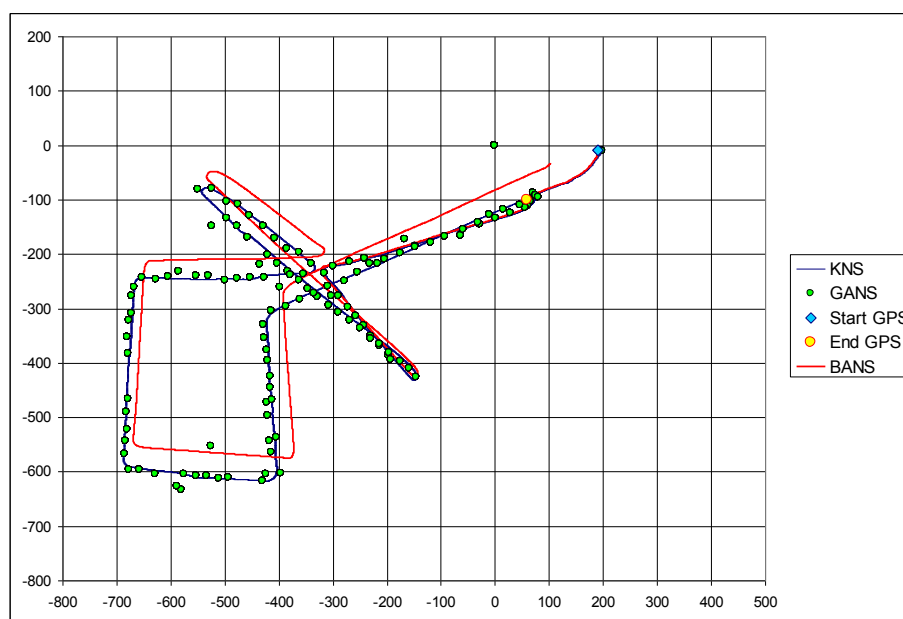


Рис. 8. Траектория движения АНПА по данным БНС

На рисунке показаны три траектории. Окружности «GANS» показывают точки траектории, полученные по данным ДБ ГАНС. Вторая траектория «KNS» обозначена тонкой линией и получена с применением алгоритмов комплексированной навигационной системы путем коррекции численной траектории по данным ДБ ГАНС. Толстой линией обозначена траектория полученная методом простого счисления. Общее время выполнения миссии: 4609 сек (1 ч 16 мин). Пройденный путь (пробег) по данным КНС – 3464 м, по данным простого счисления – 3501 м. Погрешность измерения пути полученного простым счислением (без коррекции от ГАНС) относительно данных КНС – 1%. Погрешность измерения координат в точке всплытия составила:

13 м – для координат, полученных с применением коррекции по данным ДБ ГАНС;

81 м – для координат, полученных методом простого счисления.

Комплекс средств связи

Радиомодем обеспечивает двухстороннюю связь АНПА-судно со скоростью не менее 19200 бод на дистанции не менее 3 км при нахождении АНПА на поверхности. Поддерживаются следующие возможности:

- передача на борт АНПА команд, позволяющих управлять его движением по поверхности;
- перепрограммирование и перезапуск АНПА с новой миссией;
- получение данных с борта АНПА.

Система гидроакустической связи-телеуправления и телеметрии обеспечивает под водой на дистанциях до 3 км: прием команд управления и излучение сигналов ответа (при общем числе команд 10-12 и скорости передачи – единицы бод); передачу на ОС текущей телеметрической информации, содержащей значения скорости, курса, высоты, глубины и координат АНПА; прием телеметрической информации с борта ОС.

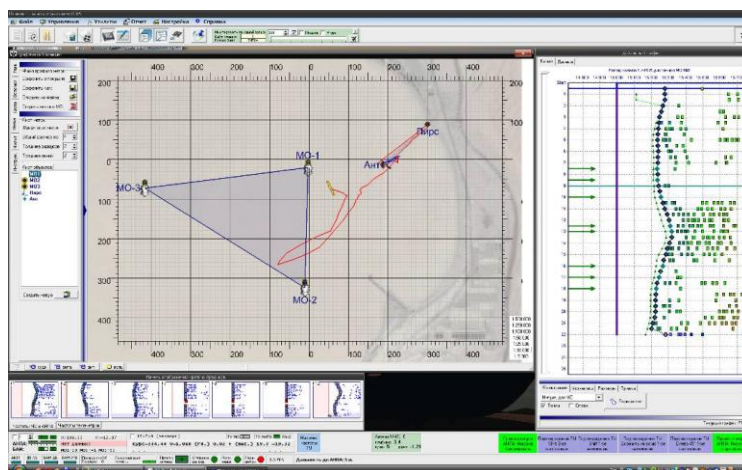


Рис. 9. Планшет навигатора АНПА

Литература

1. Горнак В.Е., Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф. ММТ-3000 – новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат Института проблем морских технологий ДВО РАН // Подводные исследования и робототехника. 2007, №1. С.12-20.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

В.В. Вельтищев

Научно-исследовательский институт специального машиностроения Московского
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, Госпитальный пер. 5, тел./факс: (499) 263-61-15,
e-mail: sm42@sm.bmstu.ru

Рассматриваются основные особенности проектирования средств движения необитаемых подводных аппаратов. Предлагается методика комплексного проектного расчета основных параметров движителя одновременно с определением приводной части средства движения. Рассматриваются особенности проведения поверочных расчетов средств движения для случаев, когда конфигурация движительного комплекса или типовые режимы движения подводного аппарата предполагают возникновение стационарных углов скола потока воды на движитель. Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке реальных гидродинамических характеристик движителей в «скошенном» потоке.

Средства движения являются одним из важнейших компонентов необитаемых подводных аппаратов (НПА). Они непосредственно влияют на целый ряд важнейших характеристик подводного аппарата, таких как скорость, маневренность, точность движения по пространственным траекториям в условиях подводного течения.

Обычно процесс создания средств движения в методическом плане базируется на достижениях и опыте проектирования судостроения. При таком подходе, основанном на использовании традиционных технических решений и методик проектирования в процессе разработки НПА, часто не удается получить удовлетворительный результат, или его достижение достигается после большой серии итерационных расчетов. Следует отметить, что в отличие от судостроения, где энергоустановки обычно выбираются из ограниченного числа серийных устройств, проектант исполнительных систем средств движения НПА имеет существенно больший арсенал средств и возможностей. Поэтому целесообразно уже на этапе предварительного проектирования искать оптимальное решение, варьируя не только параметры движителя, но и характеристики его приводной части. Далее предлагаемый алгоритм определения оптимального сочетания параметров средства движения рассмотрен на примере комплекса «гребной винт в насадке – гидропривод дроссельного регулирования». Такой вариант наиболее широко используется в конструкциях рабочих и больших осмотровых НПА. Вместе с тем, предлагаемый подход может быть легко распространен и на расчет систем другого типа, например средства движения с использованием электропривода постоянного или переменного тока. Основное отличие состоит только в виде механической характеристики каждого привода.

Так как расчет движителя проводится по диаграммам серийных испытаний, то проектировочному расчету должен предшествовать выбор конкретной серии движителя. Диаграммы серийных испытаний движителей обычно представляются в виде графических зависимостей $K_K(\lambda_p, H/D)$ и $K_2(\lambda_p, H/D)$, где: K_K и K_2 – гидродинамические коэффициенты упора и момента; λ_p – относительная поступь гребного винта; H, D – шаг и диаметр гребного винта; H/D – шаговое отношение гребного винта. Величина относительной поступи гребного винта характеризует текущий гидродинамический режим работы движителя $\lambda_p = v/(n \cdot D)$, где: v – скорость движения НПА, n – угловая скорость вращения гребного винта. Для получения аналитических расчетных зависимостей предлагается проводить аппроксимацию реальных диаграмм серийных испытаний линейными выражениями вида:

$$K_K \approx K_{K0} \left(\frac{H}{D} \right) - \frac{\lambda_p}{\lambda_1} ; K_2 \approx K_{20} \left(\frac{H}{D} \right) - \frac{\lambda_p}{\lambda_2} , \quad (1)$$

где: $K_{K0}(H/D)$ и $K_{20}(H/D)$ – значения гидродинамических коэффициентов упора и момента движителя для заданного шагового отношения H/D на швартовном режиме его работы ($\lambda_p=0$); λ_1 и λ_2 – постоянные коэффициенты, характеризующие наклон линеаризованных диаграмм серийных испытаний. Как показал опыт, такие линеаризованные зависимости с достаточной для практического использования точностью описывают работу движителей в типовых режимах движения НПА. Формулы (1) необходимо дополнить аналитическими зависимостями $K_{K0}(H/D)$ и $K_{20}(H/D)$. Эти зависимости получают путем аппроксимации графиков, построенных по кривым действия для случая работы движителя в швартовном режиме. Зависимость $K_{20} = f(H/D)$ практически для всех серий гребных винтов в направляющей насадке имеет ярко выраженный параболический характер и может быть аппроксимирована соответствующей аналитической зависимостью. Функцию $K_{K0} = f(H/D)$ можно аппроксимировать линейной или параболической функцией. Чаще всего более точные результаты дает последний вариант. Учитывая кинематическое взаимодействие движителя с корпусом НПА путем введения коэффициента аксиального попутного потока ψ_a , преобразуем зависимости (1) к виду:

$$K_K = K_{K0} - \frac{(1-\psi_a)^v}{nD\lambda_1} , K_2 = K_{20} - \frac{(1-\psi_a)^v}{nD\lambda_2} . \quad (2)$$

С учетом выражений (2) упор движителя P и момент на его валу M можно определить с помощью зависимостей:

$$P = \left(K_{K0} - \frac{(1-\psi_a)^v}{\lambda_1 nD} \right) \rho n^2 D^4 , (3) M = \left(K_{20} - \frac{(1-\psi_a)^v}{\lambda_2 nD} \right) \rho n^2 D^5 . \quad (4)$$

Здесь ρ – плотность воды. Потребный упор движителя можно определить по формуле

$$P = \frac{P_e}{(1-t)} = \frac{c\rho s v^2}{2\chi(1-t)} , \quad (5)$$

где c – гидродинамический коэффициент сопротивления НПА, s – характерная площадь, χ – число движителей, участвующих в создании тяги, t – коэффициент засасывания.

Механическую характеристику гидропривода дроссельного регулирования представим в виде уравнения

$$M = \frac{V_0 \eta_m p_H}{2\pi} \left(1 - \frac{n^2 V_0^2}{Q_{\chi\chi}^2 \eta_{об}^2} \right) , \quad (6)$$

где M – величина момента на валу гидромотора, n – угловая скорость вращения вала, V_0 – рабочий объем гидромотора; $\eta_{об}, \eta_m$ – объемный и механический КПД гидромотора; p_H – давление рабочей жидкости на входе в гидропривод; $Q_{\chi\chi}$ – расход холостого хода золотникового распределителя. Приравнивая правые части выражений (3), (5) и (4), (6) получим систему двух уравнений, описывающих установившейся режим работы всего комплекса «привод – движитель». Решение этой системы относительно переменных n и v

позволяет получить основную расчетную зависимость алгоритма выбора конструктивных параметров средства движения

$$v = \frac{2x(1-t)DA}{cs\lambda_1 B} \sqrt{\frac{p_n \eta_m V_0}{2\pi\rho}}, \quad (7)$$

где:

$$A = \sqrt{1 + \frac{cs\lambda_1^2(1-\psi_a)K_{K0}}{x(1-t)D^2}}, \quad B = \sqrt{\left(K_{20}D + \frac{p_n V_0^3}{2\pi Q_{xx}^2 \rho D^4 \eta_{об}^2} - \frac{2D^3 A x (1-t)}{cs\lambda_1 \lambda_2} \right)}.$$

Ценность выражения (7) состоит в том, что оно позволяет оценить влияние на скорость движения НПА всех основных конструктивных параметров:

$c, s, x, t, \psi_a; p_n, Q_{xx}, \eta_m, \eta_{об}, \lambda_1, \lambda_2; V_0, D, H / D$. Первая группа c, s, x, t, ψ_a характеризует непосредственно аппарат как объект движения и описывает схему расположения движителей. Эти характеристики на этапе предварительного проекторочного расчета движителей должны быть уже известны. Вторая группа параметров в формуле (7) определяет общие характеристики выбранной номенклатуры гидравлических устройств и серии движителей. Необходимость изменения таких величин как $p_n, Q_{xx}, \eta_{об}, \eta_m, \lambda_1, \lambda_2$ возникает чрезвычайно редко. Поэтому они являются дополнительными исходными данными для предварительного расчета компонентов движительного комплекса. При необходимости часть параметров из этой группы могут быть использованы как переменные в процессе поиска оптимального решения. Наконец, третья группа содержит такие важнейшие конструктивные характеристики как $D, H / D, V_0$. Определение оптимального сочетания этих параметров и является главной целью предварительного расчета средства движения. В отдельных случаях этот список может быть дополнен величиной давления нагнетания гидропривода p_n и паспортным расходом распределительного устройства Q_{xx} .

Практическая реализация предлагаемого алгоритма достаточно проста. В расчетной программе реализуются циклы вариации возможных сочетаний переменных конструктивных параметров. Целевой функцией является или достижение максимально возможной скорости движения НПА, или обеспечение заданной скорости при максимальном значении комплексного КПД всего средства движения. После определения оптимального сочетания основных параметров дополнительно производится вычисление всей совокупности технических характеристик средства движения. Многолетняя практика использования в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана предлагаемой методики показала, что расхождение реальных параметров комплекса «двигатель – гидропривод дроссельного регулирования» от расчетных (проектных) значений не превышает 5%. Простота математических процедур, используемых при расчете, позволяет произвести оценку большого числа возможных сочетаний конструктивных параметров.

В процессе движения НПА его движители работают в различных режимах, в том числе и в режиме, когда движитель обтекается потоком, направление которого составляет некоторый угол α с осью движителя. Такой режим обтекания называют обтекание движителя «косым» или «скошенным» потоком. В судостроении этот режим работы в большинстве случаев возникает только в процессе маневрирования корабля и поэтому носит кратковременный, динамический характер [1].

В подводной робототехнике рассматриваемое явление может носить постоянный характер. Работа движителя НПА в «скошенном» потоке возможна в двух случаях. Первый возникает в вертикальных и лаговых движителях при совместном движении телеуправляемого НПА с носителем (рис. 1). В этом режиме кабель, связывающий аппарат с

носителем, постоянно испытывает гидродинамическое воздействие. Это вызывает появление приложенной к аппарату реакции кабеля, проекции которой: $R_{Yкаб}, R_{Xкаб}$. Для сохранения заданной горизонтальной траектории НПА вертикальная составляющая реакции должна быть скомпенсирована упором вертикального движителя. В этом случае поток воды набегает на движитель под углом в 90^0 к его оси. Такой режим приводит к деформации гидродинамических характеристик движителя, и как результат этого – изменению упора движителя P , как по величине, так и по направлению (отклонение вектора упора от оси движителя на некоторый угол θ). Аналогичные явления возникают при совместном движении и у лагового движителя, работающего на компенсацию бокового составляющей реакции кабеля или воздействию бокового течения.

Второй случай возникает в конструкциях НПА, в которых движители установлены под углом к его строительным осям (рис. 2).

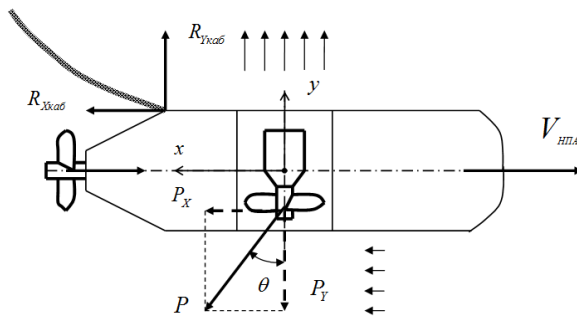


Рис. 1. Схема работы вертикального движителя НПА в «скошенном» на 90^0 потоке

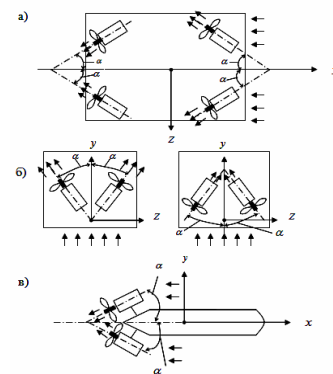


Рис. 2. Схемы размещения движителей, работающих в «скошенном» потоке

Рассмотренные случаи показывают, что работа движителей НПА в «скошенном» потоке является распространенным, типичным явлением. С другой стороны, обычно проектанты НПА эти особенности не учитывают и используют известные расчетные зависимости только для осевого обтекания движителя. Направление вектора упора движителя всегда принимают совпадающим с осью движителя, что не соответствует реальной картине.

Для получения достоверных данных о работе движителей в «скошенном» потоке были проведены экспериментальные исследования в гидроканале ФГУП «ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского». Полные результаты испытаний опубликованы в [2]. На рис. 3 изображены типичные результаты измерений вектора упора в «скошенном» на 90^0 потоке в функции коэффициента загрузки движителя σ_T , представленные в общепринятой [1] форме: в виде графика зависимости $q_p = f(\sigma_T)$, где коэффициент q показывает степень увеличения модуля вектора упора по сравнению с величиной упора в осевом потоке $\left(q_p = P_o^{-1} \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \right)$, и в виде графика $\theta = f(\sigma_T)$, где $\theta = \arctg(P_x / P_y)$.

На рис. 4 представлены характеристики $q_p = f(\alpha, \sigma_T)$ и $\theta = f(\alpha, \sigma_T)$ для диапазона изменения угла натекания набегającego на движитель потока от 0 до 90^0 .

Анализ полученных экспериментальных данных неопровержимо доказывает тот факт, что скос потока существенно деформирует гидродинамические характеристики движителя. Так, в рассматриваемом диапазоне изменения угла α модуль вектора упора может в три раза превышать величину упора движителя при его работе в осевом потоке. Величина угла

отклонения вектора от оси движителя может достигать значение 47^0 . Наибольшее отклонение наблюдается при установке движителя под углом в 45^0 к направлению набегающего потока.

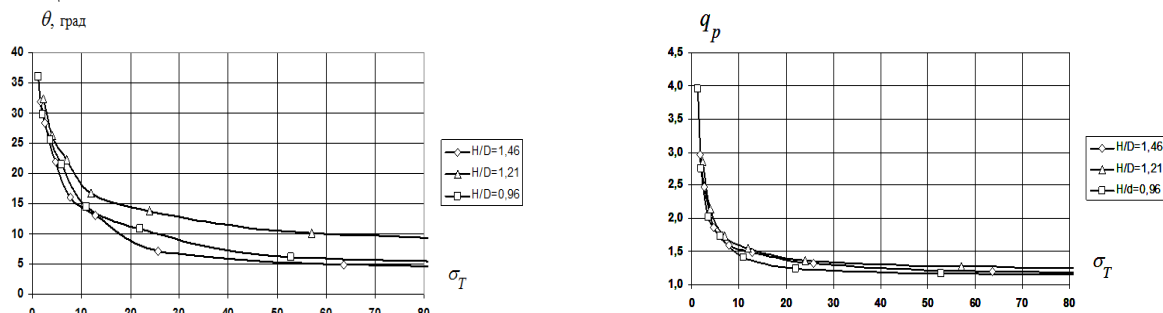


Рис. 3. Зависимость нормированной величины упора и угла отклонения вектора упора от коэффициента загрузки движителя ($\alpha = 90^0$)

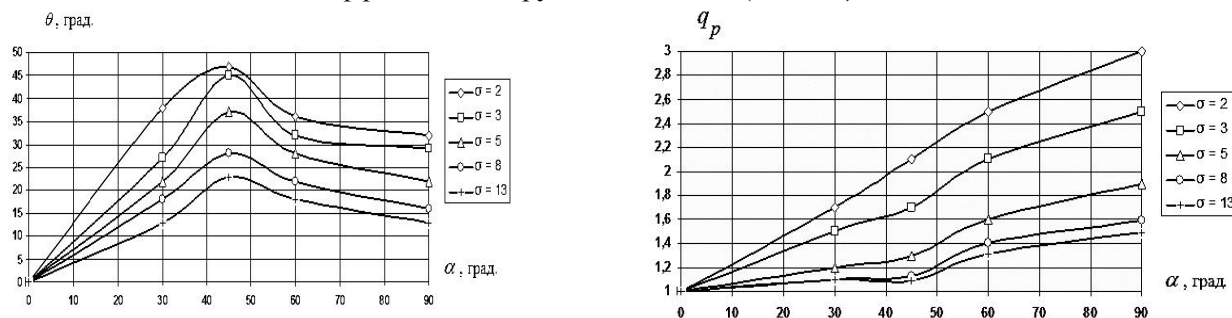


Рис. 4. Зависимость нормированной величины упора и угла отклонения вектора упора от угла набегающего потока

Результаты проведенных испытаний позволяют сформулировать следующие рекомендации:

1. Во всех ситуациях, когда конфигурация движительного комплекса проектируемого НПА или заданные типовые режимы его движения предполагают возникновение стационарных углов скоса потока на движители, необходимо проводить, как минимум, поверочный расчет силовых характеристик средств движения. В противном случае существует высокая вероятность снижения реальных скоростных характеристик аппарата по сравнению с его проектными значениями.

2. При углах скоса $\alpha \geq 30^0$ и коэффициенте загрузки движителя по упору $\sigma_T \leq 20$ учет этого явления должен производиться уже на этапе предварительного проектировочного расчета движителей НПА с постоянным уточнением всех характеристик на последующих этапах создания аппарата, вплоть до их экспериментальной проверки в ходе модельных или натурных испытаний.

Литература

1. Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.
2. Вельтищев В.В. Анализ влияния скошенного потока на рабочие характеристики движителей необитаемых подводных аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. «Актуальные проблемы развития ракетно-космической техники и систем вооружения». – 2010. – С. 97-106.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОМИННЫХ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

С.А. Егоров, А.С. Куценко, Вад.В. Вельтищев

Научно-исследовательский институт специального машиностроения

МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, Госпитальный пер., 10,

тел./факс: (499) 263-61-15, e-mail: sm42@sm.bmstu.ru

Рассматриваются особенности построения, проектирования и отработки систем управления движением противоминных телеуправляемых подводных аппаратов. Выделены основные этапы разработки систем управления и показаны подходы, используемые в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана при решении задач каждого этапа.

На протяжении ряда лет в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана ведется разработка систем управления (СУ) движением противоминных телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА).

Технология проведения противоминных операций заключается в следующем (рис. 1).

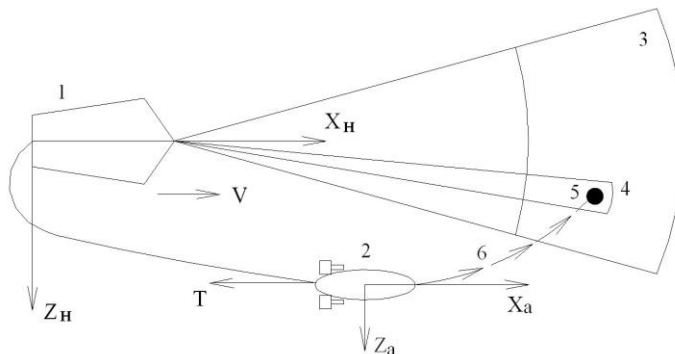


Рис. 1. Схема выполнения противоминной операции с ТПА (горизонтальная плоскость)

Базовое судно (тральщик) 1 и ТПА 2 в режиме совместного движения синхронно перемещаются со скоростью V по обследуемой акватории. ТПА находится впереди по курсу судна в точке с заданными координатами относительно тральщика (система координат $X_n Z_n$). При обнаружении корабельной гидроакустической станцией миноискания (ГАСМ) объекта 5 (объект попал в поле зрения сектора 3 тракта обнаружения ГАСМ) и его классификации как миноподобного (сектор 4 тракта классификации), ТПА направляется к объекту по некоторой траектории 6 и с помощью собственных средств (гидроакустических и телевизионных) производит допоиск и идентификацию объекта. Если объект оказался миной, производится ее уничтожение средствами ТПА и тральщика. После этого, а также в случае ложной цели, система «судно – ТПА» продолжает совместное движение, выполняя поиск следующего миноподобного объекта. Частным случаем данной схемы проведения работ является схема, когда в процессе поиска миноподобных объектов корабельной ГАСМ ТПА находится на судне. При нахождении объекта тральщик стопорит ход, переходит в режим динамического позиционирования и далее производится спуск ТПА. Другим частным случаем является вариант использования ТПА в качестве носителя гидроакустических средств поиска и классификации объектов (ГАСМ). В данном случае ТПА, двигаясь в режиме совместного движения впереди по курсу судна, выполняет все операции по обнаружению и, при наличии на его борту соответствующих средств, уничтожению объектов. В качестве примеров противоминных ТПА можно привести такие аппараты, как RAP-104, EX-116, Sea Eagle, Double Eagle, ARMS и другие.

При проектировании и отработке СУ противоминных ТПА можно выделить следующие основные этапы:

1. Разработка математических моделей ТПА разной степени сложности, адекватно отражающих динамические свойства аппарата в различных режимах движения.
2. Построение информационно-измерительного комплекса (ИИК) ТПА, представляющего собой совокупность датчиков параметров движения аппарата и алгоритмов обработки информации с них.
3. Разработка алгоритмов СУ угловой ориентацией (СУ УО) и положением центра масс (СУ ЦМ) ТПА.
4. Построение информационно-управляющей системы (ИУС) ТПА.
5. Отработка алгоритмов СУ и ИИК в полунатурном эксперименте и реальных условиях.

Далее кратко рассматриваются подходы, используемые в НИИСМ при решении задач каждого этапа.

1. Разработка математических моделей ТПА. При построении математических моделей ТПА для случая нахождения базового судна на стопе, в качестве исходных используются уравнения движения автономных аппаратов. Реакция кабеля Т (рис.1) в стыке «кабель-ТПА» либо вообще не рассматривается, либо учитывается с помощью приложенных к ТПА внешних возмущающих сил. В исходном виде математическая модель ТПА представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений (ДУ) с перекрестными связями. Данная модель декомпозируется на сепаратные подсистемы (каналы). Путем линеаризации нелинейных ДУ для характерных режимов движения, в качестве которых рассматриваются нахождение ТПА на стопе и его движение с максимальной скоростью, строятся линейные модели сепаратных каналов ТПА. По полученным линейным ДУ рассчитываются передаточные функции (ПФ) сепаратных каналов, имеющие 2-й порядок:

$$W_j^{F_{dj}}(p) = j_a^H(p) / F_{dj}(p) = k_j / [p \cdot (T_j \cdot p + 1)], \quad j=x,y,z,$$

где F_{dj} – сила тяги движителей ТПА по j_a^H -й координате ТПА относительно базового судна.

Характерной особенностью противоминных ТПА является наличие режима совместного движения с судном. В данном режиме кабель оказывает существенное влияние на динамические свойства ТПА по линейным координатам и поэтому при анализе свойств системы как объекта автоматического управления в качестве исходной используется полная нелинейная динамическая модель ТПА, в которой кабель аппроксимируется многозвенником. Получение упрощенных моделей производится аналогично описанному выше. Для данного режима ПФ сепаратных каналов ТПА и перекрестных связей между ними принимают вид:

$$W_i^{F_{dj}}(p) = i_a^H(p) / F_{dj}(p) = (c_1 \cdot p^{2N-2} + c_2 \cdot p^{2N-3} + \dots + c_{2N-2} \cdot p + c_{2N-1}) / (d_1 \cdot p^{2N} + d_2 \cdot p^{2N-1} + \dots + d_{2N} \cdot p + d_{2N+1}), \quad (1)$$

где $i, j = x, y$; i_a^H – координата ТПА относительно судна; N – число звеньев аппроксимирующего кабель многозвенника.

По результатам исследований частотных характеристик ТПА с учетом кабеля в режиме совместного движения установлена их близость к характеристикам системы 2-го порядка. Предложено построить упрощенные ПФ ТПА вида

$$W_i^{F_{dj}}(p) = i_a^H(p) / F_{dj}(p) = k_{ij} / (a_{2ij} \cdot p^2 + a_{1ij} \cdot p + 1),$$

параметры которых определяются с использованием процедуры идентификации по исходным частотным характеристикам, рассчитанным по (1), или по переходным процессам на выходе исходной нелинейной модели.

В качестве упрощенной математической модели движителей ТПА используется ДУ 1-го порядка, параметры которого определяются по результатам экспериментальных исследований движителей.

С учетом модели движителей, на этапе синтеза контуров СУ в качестве математических моделей сепаратных каналов ТПА как для режима совместного движения, так и для случая наличия провиса кабеля (базовое судно на стопе), используются передаточные функции 3-го порядка.

2. Построение информационно-измерительных комплексов ТПА. В работе [1] обоснован минимально необходимый состав измерителей параметров углового и линейного движений для противоминных ТПА:

- бесплатформенная система ориентации (БСО) на базе инерциального измерительного модуля (3 ДУС со случайным дрейфом нуля порядка $0.1..10$ град/час и погрешностью масштабного коэффициента порядка $0.1..0.3\%$; 3 линейных акселерометра со случайным дрейфом нуля $10^{-4}..10^{-3}g$ и погрешностью масштабного коэффициента $0.1..0.3\%$) и магнитного компаса на базе трехосного магнитометра, используемого для реализации в БСО режима измерения гиромантического курса (пример данных компонент БСО показан на рис. 2);
- датчики глубины и отстояния ТПА от дна (эхолот);
- система видеостабилизации (СВС), обеспечивающая высокоточное измерение по сигналам штатной телекамеры ТПА нормированных на величину отстояния аппарата от дна приращений координат ТПА вдоль осей связанной с ним системы координат X_aZ_a (рис. 1);
- гидроакустическая навигационная система (ГАНС) с ультракороткой базой.



Рис. 2. Компоненты БСО ТПА разработки ОАО РПКБ (г. Раменское)

На ряде противоминных ТПА (Penguin-B3, ARMS, Double Eagle Mk2) установлены абсолютные лаги (гидроакустические доплеровские лаги), измеряющие продольную и поперечную скорости ТПА относительно дна. Наличие двухкомпонентного лага и БСО позволяет реализовать на ТПА бортовую автономную навигационную систему счисления пути. При наличии данных о скорости судна относительно дна (поступают из навигационной системы судна) можно определить скорости ТПА относительно судна и производить счисление координат аппарата относительно судна, обеспечивая приемлемую точность счисления на коротком интервале времени.

Включение в состав противоминных ТПА абсолютных лагов дает лишь дополнительную избыточную информацию и, учитывая существующие ограничения лагов, а также финансовый фактор, не всегда целесообразно.

С целью повышения точности измерения параметров движения ТПА, уменьшения динамических запаздываний, вносимых в измерения, увеличения частоты выдачи данных в СУ ТПА, целесообразно комплексирование измерителей одних и тех же параметров движения, построенных на разных физических принципах и имеющих различные спектры погрешностей. В качестве вариантов комплексирования можно привести следующие: БСО + магнитный компас, ГАНС + БСО, ГАНС + БСО + абсолютный лаг.

3. Разработка алгоритмов СУ УО и СУ ЦМ ТПА. На рис. 3 представлена обобщенная структурная схема СУ движением противоминных ТПА, где обозначено: БФЗС – блок формирования задающих сигналов на контуры СУ УО и СУ ЦМ ТПА; ДРК ТПА – движительно-рулевой комплекс ТПА; БФС ДРК – блок формирования сигналов на ДРК ТПА.

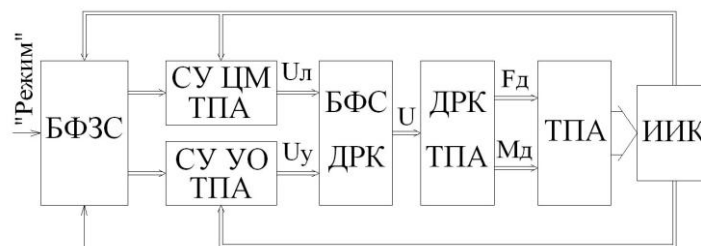


Рис. 3. Обобщенная структурная схема СУ движением ТПА

СУ в качестве основных реализует следующие режимы работы СУ аппарата:

- режим работы от выносного пульта управления (режим ВПУ) – позволяет реализовать движение ТПА только с ВПУ путем прямой подачи сигналов от задающих органов ВПУ на приводы движителей ТПА. Все контуры управления движением работают в разомкнутом режиме. Данный режим используется при выполнении спуско-подъемных операций;

- ручной – позволяет реализовать движение ТПА со штатного пульта управления путем прямой подачи сигналов от задающих органов пульта на приводы движителей аппарата. Все контуры управления движением работают в разомкнутом режиме;

- автоматизированный – позволяет реализовать движение ТПА в толще воды или при работе у дна путем управления скоростью ТПА относительно воды вдоль осей X_a , Z_a связанной с аппаратом системы координат, глубиной погружения или отстоянием ТПА от дна, курсом, дифферентом и креном. Контур маршевой, лаговой скорости работают в разомкнутом режиме, контур глубины (отстояния от дна), контуры управления углами ориентации - в замкнутом режиме;

- динамическое позиционирование (ДП) ТПА – осуществляется по данным СВС или акустического лага путем выдачи оператором соответствующей команды с пульта управления ТПА. При этом производится стабилизация нулевых значений координат X_a , Z_a в связанной с аппаратом системе координат на момент введения данного режима и текущих на момент введения режима значений глубины погружения или отстояния ТПА от дна, углов курса, дифферента, крена аппарата. В режиме ДП также реализуется управление смещениями ТПА относительно исходной точки позиционирования. Позиционные маршевый и лаговой контуры, контур глубины (отстояния от дна), контуры управления углами ориентации ТПА работают в замкнутом режиме;

- автоматический (программный режим) – позволяет реализовать движение ТПА в автоматическом режиме путем задания соответствующей программы движения. В качестве основных программ движения приведем следующие:

- а) программа «Выход в зону цели» – осуществляет автоматический вывод ТПА по заданной траектории в зону цели по данным ГАСМ (координаты цели) и ГАНС (координаты ТПА);

- б) программа «Совместное движение» – осуществляет автоматический вывод ТПА в заданную относительно судна точку и удержание в ней при последующем движении системы «судно – ТПА».

В автоматическом режиме замкнуты те же контуры, что и в указанном выше режиме ДП, однако позиционные маршевый и лаговой контуры управляют положением ТПА относительно судна по данным ГАНС.

При синтезе сепаратных контуров управления угловой ориентацией, глубиной погружения и отстоянием ТПА от дна, позиционных маршевого и лагового контуров, используются традиционные методы – метод стандартных характеристических полиномов и частотный метод. Контуры управления содержат внутреннюю обратную связь по скорости, внешнюю – по управляемой координате, прямую связь по скорости изменения задающего сигнала для реализации комбинированного управления. Для реализации автоматического режима движения

позиционные контуры формируют задающие сигналы на локальные контуры марша и лага через матрицу направляющих косинусов, связывающую систему координат, в которой формируется траектория движения, с локальной системой координат ТПА.

4. Построение информационно-управляющей системы ТПА. ИУС обеспечивает обработку информации с задающих устройств и с ИИК, формирование сигналов управления на исполнительные системы ТПА, отображение на пульте оператора параметров движения ТПА, контроль работоспособности систем ТПА. Особенностью ИУС является размещение ее составных частей в различных местах ТПА и судна. Поэтому ИУС строится как распределенная система управления, объединенная в локальную сеть. В ее состав входят пульт управления (как правило, их два – пульт управления ТПА и пульт оператора-гидроакустика), блок микропроцессорного управления ТПА, а также другое дополнительное оборудование и вычислительные блоки в зависимости от оборудования ТПА.

Пульт управления ТПА – основное средство управления. Он включает в себя органы управления системами ТПА, центральный модуль управления (ЭВМ на основе процессора Intel 8086 и его модификаций), модуль преобразования сигналов органов управления в цифровую форму (платы аналогового и цифрового ввода/вывода), систему отображения (на основе плоскостанельных экранов) и интерфейс подключения к сети ИУС.

В качестве примера на рис. 4 приведен вид экрана оператора пульта управления ТПА.

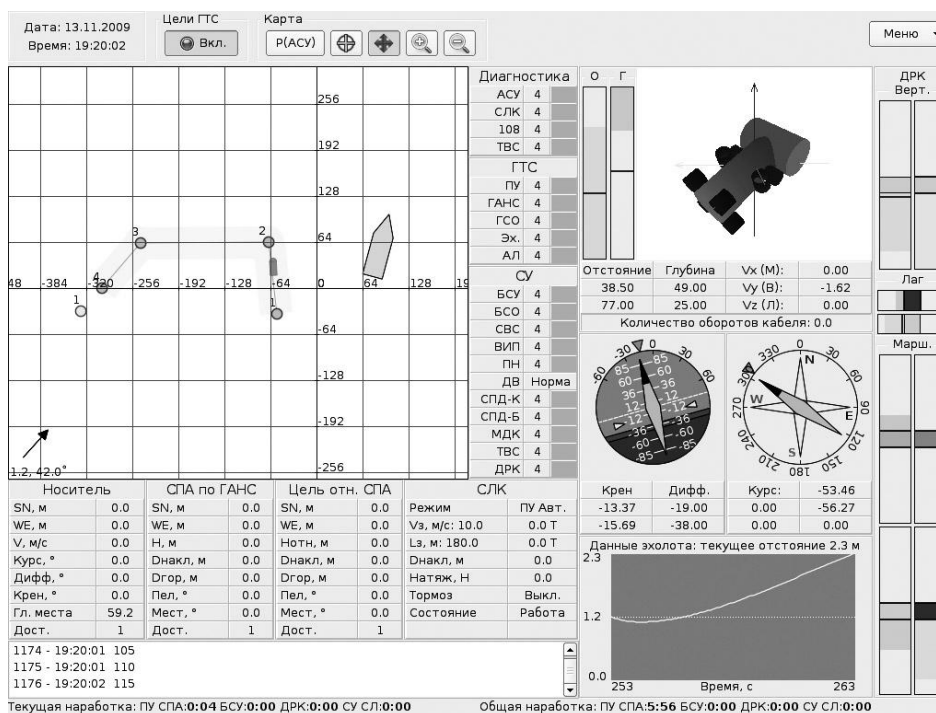


Рис. 4. Внешний вид экрана оператора пульта управления ТПА

В левой части экрана размещена карта, на которой отображается положение судна, ТПА, заданная траектория движения аппарата, направление течения. Справа в верхнем углу отображается динамическая картинка, визуализирующая угловое положение ТПА, ниже размещены органы отображения заданных и текущих параметров угловой ориентации (курс, дифферент, крен). Внизу справа отображаются показания эхолота ТПА.

Блок управления ТПА включает в себя центральный модуль управления, модуль преобразования сигналов, блок связи для подключения к сети. Все контуры СУ УО и часть контуров СУ ЦМ ТПА реализуются в бортовой ЭВМ аппарата. Реализация алгоритмов контуров СУ ЦМ ТПА, использующих данные гидроакустических систем (ГАНС и ГАСМ), распределяется в бортовой ЭВМ ТПА и ЭВМ пульта управления.

5. Отработка алгоритмов СУ и ИИК в полунатурном эксперименте и реальных условиях. Включает в себя следующие этапы: отработка алгоритмов ИИК с использованием математических моделей и реальных датчиков; отработка алгоритмов СУ с использованием упрощенных и полных математических моделей ТПА и ИИК; отработка алгоритмов СУ с использованием реальных пульта управления, линии связи, штатного программного обеспечения и имитатора ТПА (моделирующая ЭВМ); отработка алгоритмов СУ и ИИК в реальных условиях.

Особенностями настройки бортовой системы управления ТПА являются: наличие возможности просматривать внутренние переменные СУ с помощью технологической ЭВМ (по локальной сети) на борту базового судна; настройка СУ с помощью технологической ЭВМ путем изменения коэффициентов и структуры системы.

Также в ИУС реализуется возможность удаленной перепрошивки программы бортовой ЭВМ ТПА по сети с базового судна, без подъема ТПА на борт судна и вскрытия прочного корпуса аппарата.

Литература

1. Егоров С.А., Николаев Е.В., Вельтищев Вад.В., Кропотов А.Н., Челышев В.А. Особенности построения информационно-измерительных комплексов телеуправляемых подводных аппаратов // Оборонная техника. 2001. №8-9. С. 83-92.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОТИВОМИННЫХ ДЕЙСТВИЙ

С.А. Егоров, А.С. Куценко

Научно-исследовательский институт специального машиностроения

МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, Госпитальный пер., 10,

тел./факс: (499) 263-61-15, e-mail: sm42@sm.bmstu.ru

В докладе рассматриваются особенности реализации автоматического режима движения ТПА при выполнении противоминных действий. Основой данного режима являются программы «Выход в зону цели» и «Совместное движение».

В докладе Егорова С.А., Куценко А.С., Вельтищева Вад.В. «Особенности создания систем управления противоминных телеуправляемых подводных аппаратов» (см. настоящий сборник) описаны технология проведения противоминных операций с использованием ТПА и основные режимы работы системы управления (СУ) аппарата. В данном докладе рассматривается реализация программ автоматического режима движения ТПА – по заданной траектории в зону цели (программа «Выход в зону цели») и программа «Совместное движение».

При построении алгоритмов данных программ используются следующие общие допущения:

- движение ТПА в вертикальной плоскости не рассматривается; углы дифферента и крена ТПА в процессе движения малы и рассматривается движение ТПА только в горизонтальной плоскости;

- в СУ ТПА отсутствуют внешние данные о направлении течения и его скорости.

Программа «Совместное движение» должна обеспечивать вывод ТПА в точку с заданными координатами относительно судна и удерживать аппарат в данной точке при последующем движении системы «судно-ТПА».

При организации движения ТПА в окрестность заданной точки используется следующий подход. Так как максимальная маршевая скорость ТПА обычно в несколько раз выше лаговой, то при больших рассогласованиях по координатам движение к заданной точке целесообразно производить в двух режимах: режим 1 (наведение) – до входа ТПА в зону с радиусом $R_{\min}$ вокруг заданной точки управление осуществляется курсом и маршевой скоростью ТПА, при этом контур лага СУ отключен; режим 2 (стабилизация) – после входа ТПА в зону $R_{\min}$ стабилизируется курс аппарата, имевший место на момент входа в зону, а отработка рассогласований по координатам осуществляется маршевым и лаговым контурами. Для исключения автоколебательных переключений режимов СУ на границе зоны переключения дополнительно вводится зона с радиусом $R_{\max} > R_{\min}$. При воздействии на ТПА возмущающих факторов (течение) и работе СУ в режиме 2, возможен снос аппарата от заданной точки. При сносе ТПА за пределы зоны $R_{\max}$ снова включается режим 1 до входа аппарата в зону $R_{\min}$.

В основу режима 1 положен классический метод наведения – метод прямого преследования (погони), в котором продольная ось ТПА в каждый момент времени направляется на заданную движущуюся точку в системе координат судна. При формировании ошибки в контуре курса реализуется алгоритм, обеспечивающий разворот ТПА на заданный курс по кратчайшему угловому расстоянию. Контур марша разомкнут, сигнал на маршевые движители максимален, а знак сигнала определяется косинусом от

сигнала ошибки в контуре курса, что позволяет уменьшить радиус циркуляции ТПА. Лаговый движитель в режиме 1 не используется. В режиме 2 формируются позиционные ошибки в системе координат судна, которые далее перепроектируются на контуры марша и лага ТПА.

При построении алгоритмов реализации движения ТПА по заданной траектории в зону цели с учетом опасных зон дополнительно используются следующие условия и допущения:

- все координаты (ТПА, точек траектории, цели, опасных зон) задаются относительно неподвижного репера (X – направление на север, Y – вертикально вверх, Z – направлена на восток);

- параметры заданной опорной траектории для ТПА задаются в виде точек с координатами X_{Bi} , Z_{Bi} , где i – номер опорной точки, изменяющийся в пределах $1..N$ (N – заданное число опорных точек). Предполагается, что необходимо удержание ТПА в окрестности последней точки (цели) с координатами X_{BN} , Z_{BN} . Допустимые зоны нахождения ТПА вокруг опорных точек задаются радиусом R_{min} . При выходе ТПА в зону i -й точки с радиусом R_{min} считаем, что ТПА вышел в окрестность данной точки B_i ;

- параметры опасных зон (ОЗ) задаются в виде точек S_k с координатами X_{Sk} , Z_{Sk} и радиусом R_{Ozk} для каждой ОЗ, где k – номер опасной зоны, изменяющийся в пределах $1..M$. Предполагается, что недопустимо нахождение ТПА в любой ОЗ. При попадании ТПА в зону S_k -й точки с радиусом R_{Ozk} считаем, что ТПА должен выйти из данной зоны. Для всех ОЗ задается параметр b , задающий направление обхода ОЗ: по часовой стрелке при $b=1$ или против часовой стрелки при $b=-1$. Если данный параметр не задан (при $b=0$), то направление обхода должно выбираться автоматически по кратчайшему пути обхода ОЗ до текущей опорной точки.

Рассматриваются два кинематических алгоритма движения ТПА, которые формируют задающие воздействия на контуры СУ ТПА в плоскости горизонта, управляя движением аппарата по маршу, лагу и курсу.

Первый алгоритм осуществляет последовательное движение ТПА от первой точки траектории к следующей, пока ТПА не выйдет в последнюю точку траектории, а затем реализует удержание в окрестности последней точки траектории. Точки траектории назначаются с учетом огибания ТПА ОЗ.

Движение ТПА по траектории, заданной набором точек от 1 до N , аналогично программе «Совместное движение», предлагается организовать следующим образом:

- режим 1 (наведение): до входа ТПА в зону с радиусом R_{min} вокруг заданной i -й точки траектории ($i=1,..,N$) управление осуществляется курсом и маршевой скоростью ТПА, при этом контур лага СУ отключен;

- при входе ТПА в зону R_{min} i -й точки траектории, когда $i < N$ происходит переключение управления – в контуры СУ поступают координаты следующей точки и ТПА продолжает движение в режиме 1;

- режим 2 (стабилизация): после входа ТПА в зону R_{min} N -й точки траектории стабилизируется курс аппарата, имевший место на момент входа в зону, а отработка рассогласований по координатам в системе координат репера осуществляется маршевым и лаговым контурами.

Второй алгоритм осуществляет последовательный выход от первой точки опорной траектории к следующей, пока ТПА не выйдет в зону R_{min} последней точки опорной траектории. Движение ТПА по траектории, заданной набором точек от 1 до N , осуществляется аналогично алгоритму 1, кроме случаев попадания ТПА в любую из заданных ОЗ. При попадании в зону радиусом $(R_{Ozk} + \Delta)$ вокруг точки S_k СУ отрабатывает обход данной ОЗ до выхода ТПА в зону прямой видимости опорной точки, которую он отрабатывает в данный момент времени (Δ – ширина полосы вокруг зоны, заданной R_{Ozk} и S_k для безопасного обхода ОЗ). Рис. 1 иллюстрирует выход ТПА в точку с учетом опорной

Алгоритмы комплексирования строятся на основе фильтров 2-го порядка, компенсирующих медленноменяющуюся погрешность лага. Расчет параметров алгоритмов может быть выполнен на основе детерминированного подхода к описанию погрешностей измерителей.

Работоспособность описанных выше алгоритмов детально исследована моделированием в пакете прикладных программ Matlab/Simulink с использованием математической модели системы «судно – кабель – ТПА», моделей СУ и ИИК ТПА. Выполнены детальные исследования при разных возмущающих факторах и неидеальностях – наличие течения, медленноменяющееся смещение нуля в модели лага, наличие запаздывания, дискретизации по времени, флюктуирующей погрешности в модели ГАНС.

В качестве примера реализации программы «Совместное движение» на рис. 2 представлены траектории движения судна и ТПА в режиме совместного движения при воздействии на ТПА бокового течения.

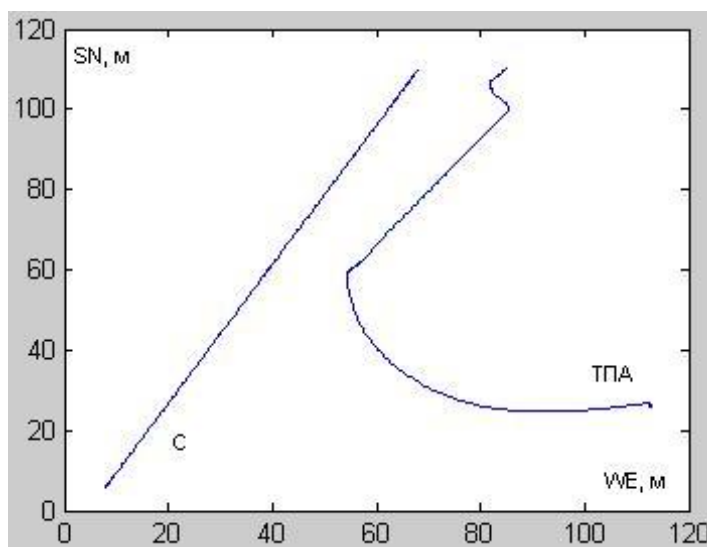


Рис. 2. Траектории судна (C) и ТПА в режиме совместного движения при воздействии на ТПА бокового течения (SN, WE – направления осей Юг-Север, Запад-Восток)

Результаты исследования совместного движения ТПА позволяют сделать следующие выводы:

- предложенный кинематический алгоритм реализации режима совместного движения обеспечивает стабилизацию аппарата в окрестности заданной точки в широком диапазоне скоростей совместного движения и скоростей течения;
- из-за ограничения силы тяги лагового движителя ТПА, при наличии достаточно сильного бокового течения имеет место периодическое переключение режимов наведения и стабилизации аппарата в окрестности заданной точки (рис. 2).

В качестве примера реализации программы «Выход в зону цели» приведем модельную задачу организации выхода ТПА в конечную точку в обход опасной зоны, заданной в виде окружности в плоскости горизонта. Вокруг опасной зоны от начальной к конечной точке проложена расчетная траектория, задаваемая 5-ю точками. На рис. 3 представлены траектории движения ТПА по точкам заданной траектории при наличии течения и флюктуирующей погрешности ГАНС.

По результатам исследований движения ТПА по программе «Выход в зону цели» можно сделать следующие выводы:

- при отсутствии течения реальные кривые движения ТПА между точками траектории близки к прямолинейным отрезкам, соединяющим эти точки. При наличии течения, из-за

особенности алгоритма наведения режима 1 имеют место отклонения реальной траектории от расчетной между точками траектории, что может привести к заходу ТПА внутрь опасной зоны. Во избежание этого, расчетную траекторию следует задавать на некотором удалении от опасной зоны, гарантирующем безопасное движение ТПА при течении различной силы и направления;

- из-за ограничения силы тяги лагового движителя, в конечной точке траектории СУ стремится установить ТПА против течения, что автоматически достигается переключением режимов 1 и 2. Такая особенность кинематического алгоритма позволяет максимально использовать силу тяги маршевых движителей для удержания ТПА в окрестности конечной точки траектории при достаточно сильном течении;

- флюктуирующая погрешность в канале ГАНС, частично отфильтрованная в ИИК, проходит на выход СУ. Однако амплитуда колебаний на выходе СУ значительно меньше, чем в сигнале ГАНС и они не оказывают существенного влияния на работоспособность системы.

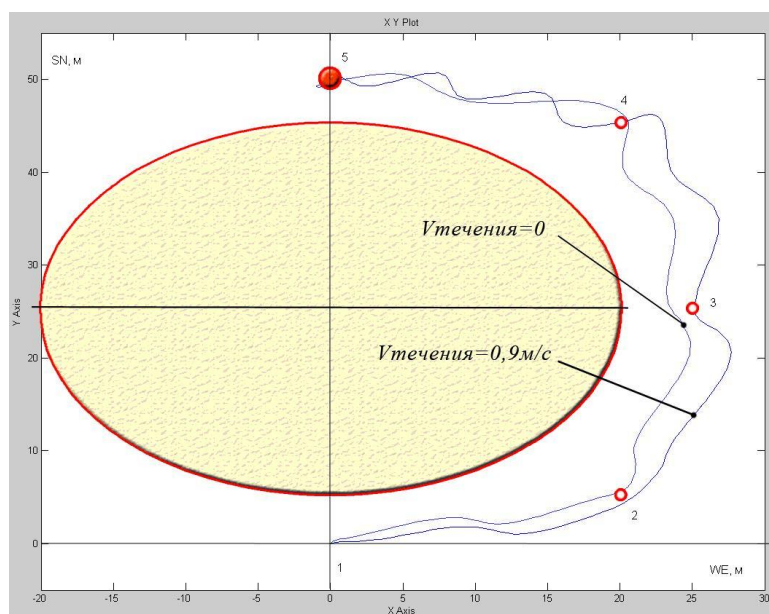


Рис. 3. Движение ТПА по точкам траектории при наличии течения и флюктуирующей погрешности ГАНС

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА МАЛОГАБАРИТНОГО ОСМОТРОВОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

А.В. Молчанов, К.В. Черненко, С.А. Егоров, А.С. Куценко

Научно-исследовательский институт специального машиностроения

МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, Госпитальный пер., 10,

тел./факс: (499) 263-61-15, e-mail: sm42@sm.bmstu.ru

Представлена информационно-управляющая система малогабаритного осмотрового телеуправляемого подводного аппарата разработки НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Рассматриваются особенности построения контуров управления, информационно-измерительного комплекса ТПА, вычислительных аппаратных и программных архитектур борта аппарата и пульта оператора.

Информационно-управляющая система (ИУС) представляет собой набор всего необходимого оборудования (датчики, вычислители, периферийные платы и пр.) и программного обеспечения для реализации взаимодействия подсистем комплекса, формирования управляющих сигналов на движители, лебедку, на другое оборудование и выдачу требуемой информации о состоянии подсистем, параметрах движения аппарата оператору. В докладе рассматривается ИУС малогабаритного осмотрового телеуправляемого подводного аппарата (ТПА), разработка которого ведется в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Условно ИУС можно разделить на бортовую и пульттовую части.

Основой бортовой ИУС ТПА являются алгоритмы системы управления (СУ). Прочие аппаратно-программные компоненты ИУС служат для обеспечения работы СУ. Таким образом, требования к структуре и составу компонентов ИУС формируются на основе требований к СУ, которые, в свою очередь, формируются по требованиям, предъявляемым к аппарату: количество управляемых координат, точность стабилизации управляемых координат и т.д. Особенности данного ТПА (рис. 1) являются:

- 6 управляемых координат: курс, дифферент, крен, марш, лаг, вертикаль (глубина, отстояние);
- отсутствие программных режимов работы;
- малые габариты и масса;
- нежесткие требования к стабилизации углового положения.

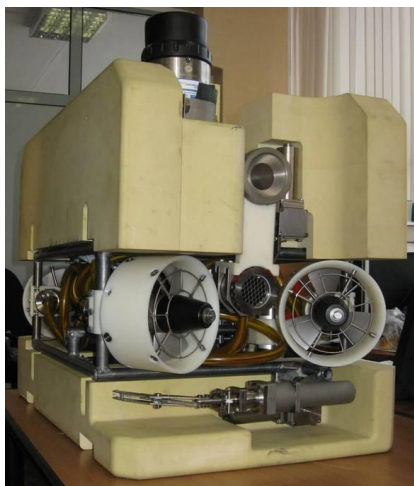


Рис. 1. Малогабаритный осмотровый ТПА разработки НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Таким образом, благодаря отсутствию программных режимов движения СУ ТПА состоит только из локальных контуров управления движением. Для работы данных контуров требуется информация с позиционных датчиков и производные по соответствующим координатам. Всю необходимую информацию о параметрах движения для системы управления формирует информационно-измерительный комплекс (ИИК), состоящий из аппаратной (набор измерителей) и программной частей (алгоритмы обработки показаний датчиков). На основании установленных требований определен следующий состав аппаратной части ИИК: цифровой магнитный компас (МК) с тремя акселерометрами и тремя магнитометрами в своем составе, 3 датчика угловых скоростей (ДУС), прецизионный датчик давления для измерения глубины, эхолот для измерения отстояния, измеритель линейных смещений по данным с телевизионной камеры для реализации режима динамического позиционирования (система видеостабилизации – СВС). При этом МК и 3 ДУС объединяются в единую бесплатформенную систему ориентации (БСО), алгоритмы которой, благодаря использованию принципа инвариантности, позволяют устранить основные погрешности указанных измерителей и сделать показания по углам ориентации безинерционными. Для получения скоростей по глубине и отстоянию показания соответствующих датчиков дифференцируются после предварительной фильтрации. СВС, в свою очередь, не входит в состав бортовой ИУС и выполнена в виде отдельного вычислительного модуля, поставляя данные о смещениях по основному каналу связи через пульт управления. С учетом требований по точности, стоимости и массогабаритным характеристикам в качестве указанных измерителей были выбраны следующие датчики: цифровой магнитный компас TCM-XB (США), 3-х осевой волоконно-оптический гироскоп VG091-3D (Россия), датчик давления D10 (Германия), эхолот PSA-916 (США). Все датчики имеют цифровой последовательный интерфейс, что позволяет упростить процедуру их встраивания и сузить требования к периферии центрального вычислителя.

В качестве вычислительного ядра используется одноплатная ЭВМ формата PC104 Core Module 620 (Ampro, США) с центральным процессором Geode LX800 (тактовая частота 500 МГц). Выбор данного форм фактора обусловлен жесткими требованиями по массогабаритным характеристикам, а производительность – отсутствием ресурсоемких алгоритмов и минимизацией энергопотребления и тепловыделения. Кроме того, данная ЭВМ несет у себя на борту встроенный видеоадаптер и позволяет помимо карт Compact Flash подключать стандартный жесткий диск, что обеспечивает удобство работы с вычислителем на этапе отладки. В качестве основной платы периферии используется 12 портовая плата гальванически развязанных последовательных интерфейсов Xtreme 104 Iso (Connect Tech Inc), обеспечивающая подключение всех необходимых датчиков и контроллеров к центральному вычислителю.

Все алгоритмы управления и фильтры ИИК должны работать в реальном времени. Кроме того, в связи с тем, что бортовой вычислитель находится внутри прочного корпуса, что в свою очередь затрудняет замену носителя данных в случае аппаратных и программных сбоев, операционная система должна обладать высокой отказоустойчивостью. С данных позиций наилучшим образом себя зарекомендовала операционная система реального времени (ОСРВ) QNX. Следует также отметить, что компания SWD – основной дистрибьютер QNX в России – распространяет еще и переработанный защищенный вариант данной ОС для встраивания в системы с повышенными требованиями к защите информации, в том числе системы военного назначения. Кроме того, ОС постоянно поддерживается и имеет гибкие возможности по распределенному сетевому вычислению и удаленному администрированию, при этом, в отличие от Linux, набирающего популярность в сфере встраиваемых систем, QNX обеспечивает жесткое реальное время, имеет лучшую масштабируемость и более гибкие возможности по диспетчеризации многопоточных задач.

QNX – POSIX совместима, что позволяет с минимальными затратами усилий и времени использовать уже имеющийся код, ранее написанный под Linux и наоборот.

Для повышения надежности работы было принято решение выбрать многопоточную архитектуру программного обеспечения. При этом программа состоит из следующих потоков:

- центральный поток: отвечает за обработку алгоритмов СУ, ИИК и модели аппарата (для предварительной отработки алгоритмов). Для тактирования работы центрального потока используется таймер с частотой 100Гц. На данной частоте работают алгоритмы ИИК, включая фильтры датчиков и алгоритмы БСО. В качестве частоты замыкания алгоритмов СУ используется частота 20 Гц, получаемая программным делителем. Данный подход позволяет снизить требования к производительности вычислителя. При этом частота замыкания остается гораздо выше частоты среза;

- поток центрального канала связи: отвечает за обмен информацией с пультом управления. Обмен по центральному каналу связи осуществляется в режиме запрос-ответ с частотой 10 Гц, при этом мастером является пульт управления (ПУ). Для удобства настройки ТПА на этапе испытаний в протоколе обмена информацией с ПУ помимо основных пакетов введены еще технологические пакеты, реализующие механизм модификации коэффициентов настройки алгоритмов СУ и ИИК;

- потоки обмена с датчиками и контроллерами: отвечают за опрос периферийных устройств и распаковку сообщений, приходящих от них. Для простоты реализации и гарантированного высвобождения процессорного времени обработка информации, поступающей с датчиков, ведется по задержкам, подбираемым на основании частоты выдачи информации конкретным периферийным устройством.

Основным преимуществом данной архитектуры является сохранение работоспособности СУ в целом при отказе отдельных компонентов, а также более эффективное использование ресурсов процессора.

Описанные программно-аппаратные решения позволяют придать бортовой ИУС надежность и делают ее удобной для отладки и дальнейшей модификации.

Аппаратное обеспечение пультовой части ИУС размещено в двух блоках ПУ – блоке управления (БУ) и консоли управления (КУ).

В состав БУ входят: модуль СВС; видеосервер Axis 241Q с 4-мя каналами; ЭВМ управления и отображения информации с гидролокатора секторного обзора (ГСО); преобразователь RS232/485/422 в Ethernet (Moxa NPort); коммутатор Ethernet.

СВС состоит из вычислителя Advantech PCM-3380F и платы видеозахвата RTD MSMS104+. Для работы СВС используется поворотная носовая телевизионная камера ТПА. Для перевода СУ в режим динамического позиционирования по данным СВС она должна быть наклонена вниз на угол 70° от горизонта. Рассчитанные параметры движения ТПА передаются по локальной сети на КУ и далее на борт ТПА. Во время работы СВС оператор может получать изображение с носовой или кормовой телевизионной камеры.

Все размещенные в БУ преобразователи данных, получаемых от оборудования комплекса, имеют интерфейс Ethernet, что позволило объединить их в единую сеть и снизить количество кабелей между КУ и БУ. На уровне ОС драйвер преобразователя RS232/485/422 в Ethernet представляет последовательные порты в виде стандартных устройств ЭВМ.

КУ (рис. 2) включает в себя органы управления ТПА (сенсорный экран), рукоятка управления движением (РУД), указательное устройство и кнопки управления ГСО) и монитор для отображения телеметрии и изображения с телевизионных камер, одноплатную ЭВМ формата EPIC Netpune (Diamond Systems). Данная ЭВМ имеет:

- встроенный видеоадаптер с аппаратной поддержкой OpenGL 1.3 и декодирования видеопотока MPEG-2;

- два выхода сети Ethernet: один используется для подключения к БУ, второй выведен на технологический разъем КУ;
- встроенный источник питания с диапазоном входного напряжения 8-28В.

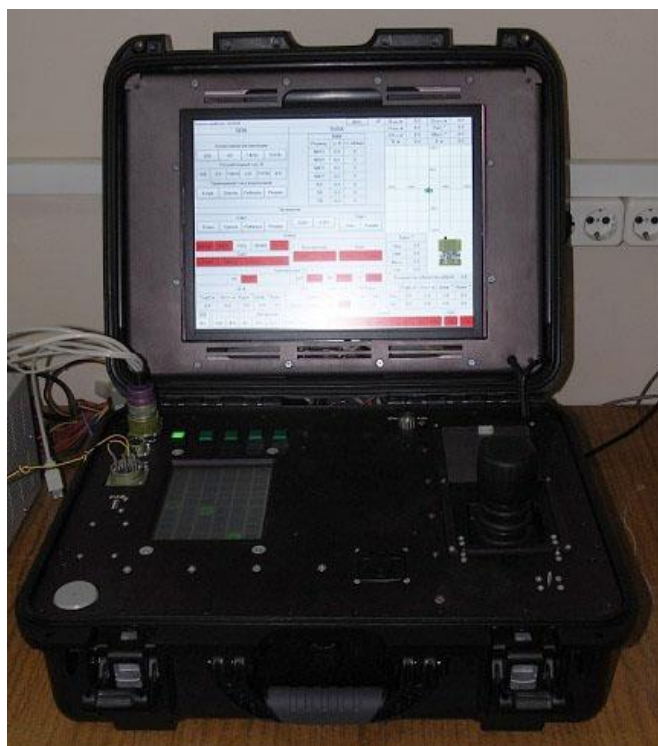


Рис. 2. Консоль управления ТПА

По осям РУД производится управление курсом, маршем и лагом ТПА. Две кнопки, размещенные на рукоятке, управляют движением по вертикальной оси без регулировки уровня скорости движения.

Все кнопки управления режимами и подсистемами ТПА, другим оборудованием комплекса размещены на сенсорном экране. Экран разделен на две области: постоянный набор кнопок и вспомогательные кнопки.

Постоянно отображаются кнопки управления движением ТПА, режимами работы СУ, лебедкой, наклоном телевизионной камеры. Часть постоянных кнопок задает отображаемый набор вспомогательных кнопок. Вспомогательные кнопки обеспечивают включение/выключение подсистем комплекса, управление манипулятором ТПА, выбор воспроизводимого канала видеосервера, выбор режима работы носовой телевизионной камеры, настройки ГАНС, управление выводом диагностической информации.

В качестве операционной системы ПУ выбрана ОС Linux (за исключением ЭВМ ГСО) исходя из доступности драйверов, наличия документации, описывающей практически все возможности данной ОС, поддержки высокоуровневой графики, возможности оптимизации процесса загрузки, малого размера встраиваемого образа.

Указательное устройство, размещенное на КУ, подключено к ЭВМ ГСО и эмулирует работу манипулятора типа «мышь». Видеовыход ЭВМ подключен на вход видеосервера. Оператор может выполнять настройку и просматривать изображение от ГСО (Tritech Super SeaKing) вместо изображения с телевизионных камер. ЭВМ ГСО функционирует под управлением ОС Windows, что обусловлено использованием штатного программного обеспечения локатора.

Программа КУ сделана многопоточной. Центральный поток занимает обработчик графического интерфейса (экранные кнопки сенсорного экрана и телеметрия с ТПА) и в нем

недопустимо формирование задержек, так как в эти моменты прекращается обработка нажатия экранных кнопок.

Второй поток работает с частотой 100 Гц. В нем формируется логика взаимодействия с ТПА и ГАНС, обработка сигналов РУД (фильтрация и ограничение сигнала). Используя делитель частоты (до 10 Гц) осуществляется запись данных в порты всех устройств.

Третий поток обеспечивает чтение данных со всех портов и анализ поступающих данных.

Четвертый поток отвечает за обработку видеосигнала с видеосервера. С экранных кнопок сенсорного экрана задается отображаемый канал видеосервера или квадратор (изображения со всех 4-х каналов, уменьшенные по высоте или горизонтали в два раза).

Для окончательной отработки алгоритмов ИУС в полунатурном эксперименте и реальных условиях используется внешняя технологическая ЭВМ. Она может подключаться к технологическому разъему на БУ или КУ, в обоих случаях она имеет доступ ко всем устройствам в сети, что позволяет контролировать их и настраивать в процессе отладки комплекса. Конфигурационные файлы КУ, устройств в БУ и ТПА (хранящиеся на КУ и записываемые на ТПА по внешней команде) могут быть изменены удаленно по сети.

Из специального программного обеспечения на данной ЭВМ установлен программный комплекс MBTU 3.0. Он взаимодействует с программой консоли управления по протоколу UDP и может подключаться в процессе работы комплекса без выключения питания или перезапуска программы КУ. Из MBTU через КУ отправляется запрос на ТПА с идентификаторами требуемых переменных из контуров управления СУ и технологических параметров программного обеспечения аппарата. Аналогично могут быть запрошены переменные и данные из программы КУ.

Также из MBTU можно подать команду на запись конфигурационного файла на ТПА с КУ после его изменения. Другая команда позволяет произвести обратную операцию.

Для программы КУ реализована только функция загрузки нового файла коэффициентов. Для чтения и проверки текущих значений коэффициентов файл доступен по локальной сети.

Другая группа подаваемых из MBTU команд позволяет изменять режим работы программного обеспечения КУ, БУ, ТПА с основного режима на технологический, что обеспечивает доступ к дополнительным возможностям отладки и настройки систем комплекса.

Описанные выше аппаратно-программные решения выбраны на основании предыдущего опыта НИИСМ по созданию ИУС аппаратов различных классов.

В настоящее время выполнена отработка алгоритмов и программного обеспечения ТПА, ПУ в лабораторных условиях и при испытаниях ТПА в гидроканале ЦАГИ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ В ГЛУБОКОВОДНЫХ УСЛОВИЯХ

В.В. Вельтищев, С.В. Цветков

Научно-исследовательский институт специального машиностроения Московского
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, Госпитальный пер., 5., тел./факс: (499) 263-61-15,
e-mail: sm42@sm.bmstu.ru

Приводятся экспериментальные данные влияния давления воды на величину изгибной жесткости типовых конструкций подводных кабелей. Обосновывается возможность возникновения существенных остаточных деформаций при смотке кабеля с барабана лебедки в глубоководных условиях.

Кабельная линия, связывающая телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) с судном обеспечения, является основным силовым элементом всей подводной привязной системы. Многожильный гибкий кабель представляет собой сложную анизотропную механическую систему, в которой из-за наличия прослоек между токопроводящими элементами, понижающими трение, возможно относительное движение внутренних элементов кабеля в процессе его изгиба. Аналитическим и экспериментальным исследованиям гибких многожильных кабельных систем для наземного использования, посвящены работы [1, 2]. Подводный многожильный кабель по условиям силового нагружения имеет ряд существенных особенностей:

- в процессе эксплуатации на наружную оболочку кабеля всегда воздействует давление воды, определяемого глубиной использования ТНПА;
- при размещении ТНПА на подводном обитаемом носителе или использовании двухзвенной схемы построения привязной системы в процессе продолжительной транспортировки к месту работ кабель на барабанах лебедки находится в деформированном состоянии, выход из которого должен осуществляться в условиях повышенного давления.

Физика влияния внешнего давления на механические свойства гибкого кабеля достаточно ясна. Так как кабель ТНПА не содержит защитных броневого слоя, то внешнее давление воды вызывает обжим наружной оболочки кабеля и его внутренних элементов. При этом увеличиваются межэлементные силы трения при изгибе кабеля, и меняется его изгибная жесткость. Как показывают эксперименты, в наземных условиях работа сил трения при изгибе кабелей составляет от 15 до 40% от общей работы на деформацию кабеля [3]. При воздействии на внешнюю оболочку кабеля давления воды эта величина должна возрастать. В настоящее время отсутствуют теоретические зависимости, позволяющие определить интегральную жесткость гибкого кабеля с учетом внешнего давления. Поэтому в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана были выполнены экспериментальные исследования с целью оценки влияния внешнего давления на механические характеристики типовых конструкций подводных кабелей.

Испытания проводились в камере высокого давления с использованием различных нагрузочных устройств (рис. 1, 2). Результаты проведенных экспериментов для типовой конструкции подводного кабеля приведены на рис. 3, 4.

На графике рис. 4 можно наблюдать практически линейное возрастание жесткости кабеля EJ_{cp} в диапазоне увеличения давления от 0 до 40 МПа. При давлении 40 МПа средняя изгибная жесткость испытываемого кабеля возрастает в 3,5 раза по отношению к исходному

ее значению. Дальнейшее увеличение давления не вызывает изменений механических характеристик кабеля.

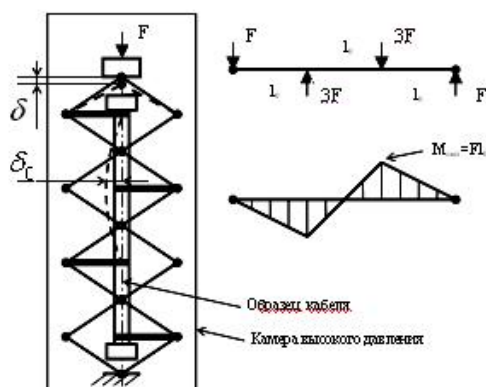


Рис. 1. Схема шарнирно-рычажного устройства для изгиба кабеля встречными моментами

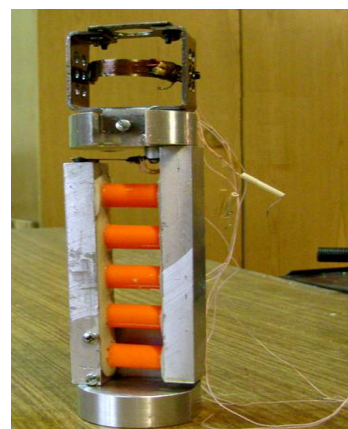


Рис. 2. Устройство для консольного нагружения нескольких образцов кабеля

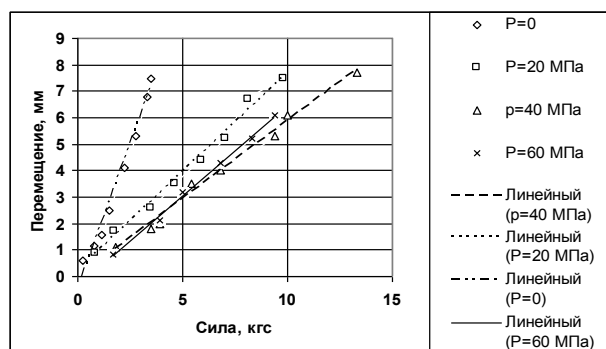


Рис. 3. Зависимость $\delta = f(F)$ при различных уровнях внешнего давления

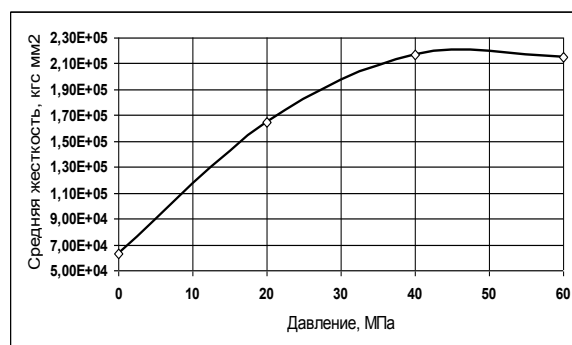


Рис. 4. Зависимость осредненной изгибной жесткости кабеля $EJ_{ср}$ от внешнего давления

Изменение EJ будет оказывать влияние на конфигурацию кабеля при его смотке с барабана лебедки в глубоководных условиях. В первом приближении для количественной оценки этого влияния можно использовать формулу для расчета изгиба стержня большой кривизны

$$\frac{M}{EJ} = \frac{1}{\rho_6} - \frac{1}{\rho_0},$$

где ρ_6 – радиус барабана; ρ_0^{-1} – кривизна ненагруженного кабеля при атмосферном давлении; M – изгибающий момент.

Аппроксимируем экспериментальную зависимость $EJ = f(p)$ степенным рядом вида $EJ(p) = EJ_0(1 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p) = EJ_0 f(p)$, где EJ_0 – изгибная жесткость кабеля при атмосферном давлении. Тогда радиус кривизны кабеля ρ_k при его размотке в условиях повышенного давления будет выражаться зависимостью вида

$$\rho_k = \frac{\rho_6 f(p)}{f(p) + \rho_6 / \rho_0 - 1}.$$

Для проверки достоверности такой оценки была проведена серия экспериментальных испытаний кабеля на специальной установке, позволяющей имитировать деформацию кабеля на барабане лебедки (рис. 5). Перед испытаниями в условиях атмосферного давления образец

кабеля принудительно деформировался на шаблоне с целью имитации реальной кривизны барабана лебедки ρ_0^{-1} . После повышения внешнего давления с помощью спускового механизма образец кабель освобождался от действия изгибающего момента. При этом тензометрическим измерителем фиксировалась остаточная кривизна ненагруженного кабеля. Предварительно для оценки достоверности предложенной аналитической зависимости были проведены эксперименты с целью определения вида зависимости $EJ(p)$ и аппроксимирующей ее функции $EJ_0 f(p)$.

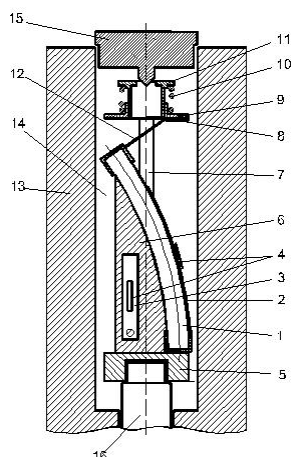


Рис. 5. Схема и внешний вид установки для измерения остаточных деформаций кабеля

Полученные временные экспериментальные зависимости $\rho_k = f(t)$ при различных уровнях внешнего давления приведены на рис. 6. На рис. 7 представлен график изменения нормированной величины радиуса кривизны кабеля ($\bar{\rho}_k = \rho_k / \rho_0$) в функции давления. Там же изображены графики аналитических оценок ρ_k для разных значений исходной кривизны кабеля при его намотке на барабан. Из вида графических зависимостей следует, что для испытываемого образца серийного кабеля рост давления вызывает существенное уменьшение радиуса кабеля после его смотки с барабана в условиях повышенного внешнего давления. При давлении $p = 30$ МПа радиус размотанного кабеля не более чем на 10% превышает радиус барабана лебедки даже после завершения релаксационных процессов в образце кабеля. Сопоставление экспериментальных данных с графиком, построенным по аналитической зависимости, позволяет сделать вывод о том, что последняя может служить достаточно точной оценкой ожидаемой конфигурации кабеля после его смотки с барабана лебедки.

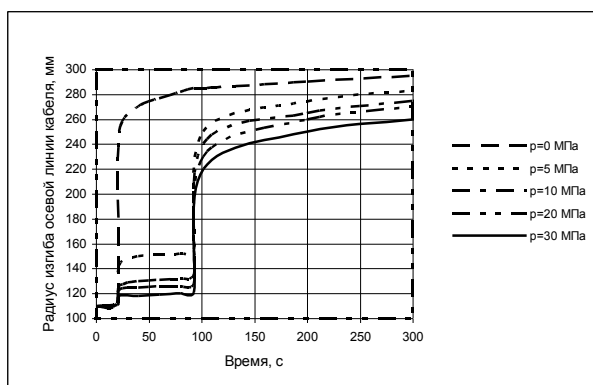


Рис. 6. Изменение радиуса осевой линии кабеля во времени

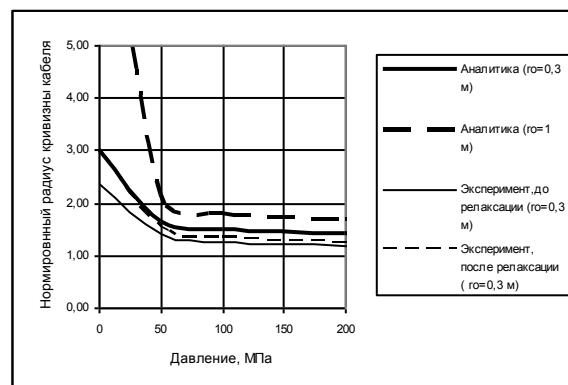


Рис. 7. Экспериментальная зависимость $\bar{\rho}_k = f(p)$ и ее аналитическая оценка

Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать ряд важных в практическом смысле выводов.

Повышение изгибной жесткости гибкого кабеля в сочетании с остаточными изгибными и крутильными деформациями после перехода из напряженно-деформированного состояния на барабане лебедки в свободное от нагрузок состояние неизбежно приведет к формированию спиралевидной конфигурации кабеля на участке между глубоководной лебедкой и ТНПА (рис. 8). Радиус кривизны спирали ρ_k будет определяться величиной остаточных деформаций кабеля. При такой конфигурации кабель в определенном смысле эквивалентен цилиндрической пружине и создает дополнительную, неучтенную упругую нагрузку на средства движения ТНПА. Совершенно недопустима такая геометрия свободного кабеля и с точки зрения возникновения большой вероятности его зацепа о донные объекты. Актуальность данной проблемы подтверждается реальными подводными видеосъемками, выполненными с борта глубоководного обитаемого аппарата «Мир» Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. В 1993 году для проведения осмотровых работ во внутренних объемах затонувшей атомной подводной лодке «Комсомолец» обитаемый аппарат был дооснащен малогабаритным телеуправляемым ТНПА «ФИШ-103». Кабель, связывающий ТНПА с носителем, имел диаметр 16 мм и был намотан на лебедку без натяжного устройства с диаметром барабана 0,3 м. Работы выполнялись на глубине 1690 метров. Кадры подводной видеосъемки с изображением кабеля при выходе ТНПА с глубоководного аппарата «Мир» показаны на рис. 9.

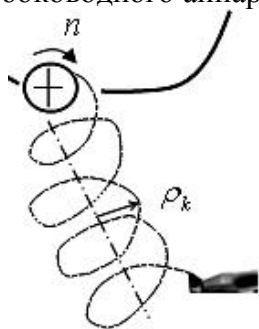


Рис. 8. Конфигурация подводного кабеля при его смотке с барабана лебедки

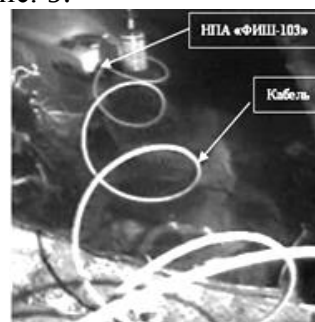


Рис. 9. ТНПА «ФИШ-103» при работах на АПЛ «Комсомолец»

Влияние внешнего давления на механические характеристики кабеля можно снизить, если использовать кабельные конструкции с жидким наполнителем или имеющие наружную оболочку, проницаемую для морской воды. Примером такого проницаемого кабеля может служить опытный кабель КГО ТУ НЦИА 237-99, разработанный по заданию НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана в ОАО «НИКИ» г. Томск. Результаты испытаний кабеля КГО подтвердили практически полную инвариантность его механических характеристик к внешнему давлению. Дополнительным преимуществом такой конструкции кабеля является то, что в нем существенно повышается теплопередача от токоведущих жил в среду, и поэтому почти в два раза увеличивается допустимая токовая нагрузка.

Литература

1. Мусалимов В.М., Соханев Б.В., Мокряк С.Я. Элементы механики кабельных конструкций. – Томск: Издательство ТГУ, 1981. – 230 с.
2. Мусалимов В.М., Соханев Б.В. Механические испытания гибких кабелей. – Томск: Издательство ТГУ, 1981. – 145 с.
3. Исмаилов Г.М., Соханев Б.В., Сапожков М.А. Соотношение сил трения при деформации изгиба // Труды шестой сессии международной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы теории точности процессов, машин, приборов и систем. – СПб.: ИПМаш РАН, 2003. – С.39-42.

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

К.В. Черненко

НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Москва, Госпитальный пер., 10, тел.: (499) 263-61-14,
e-mail: chernenkov@mail.ru

Рассмотрено моделирование структуры подводных телеуправляемых аппаратов на ранних этапах проектирования при заданных внешних ограничениях (факторы внешней среды, свойства объекта поиска, другие ограничения проекта).

При проектировании производительных систем с разнородными объектами и процессами таких, как поиск затонувших объектов, актуален выбор рациональной или оптимальной структуры технических средств, компоненты которых одновременно функционируют в нескольких средах – на морском дне, на плавучих и наземных средствах [1]. Модели, используемые в САПР, не учитывают влияние факторов различной природы на компоненты изделия, поэтому конструктор телеуправляемого подводного аппарата (ТПА) должен учитывать свойства искомых объектов и оснастить аппарат требуемыми средствами поиска, а так же обеспечить выход ТПА в заданный район при наличии течений и внешних возмущающих факторов. Решение таких задач осуществляется на ранних этапах разработки конструкции аппарата – в предпроектных исследованиях, при формировании технического задания, эскизном проектировании. Решение этих задач в САПР целесообразно осуществлять с использованием теории полихроматических множеств и графов [2, 3].

Для принятия решения о типе поисковых средств и необходимых свойств ТПА выделены свойства среды, объекта поиска, поисковых средств и ТПА, и предложен алгоритм анализа решений с использованием математического аппарата полихроматических множеств.

На выбор средств выполнения работ влияют следующие свойства среды [4]:

- 1) глубина поиска;
- 2) соленость воды;
- 3) температура воды;
- 4) ослабление света в воде;
- 5) освещенность поверхности воды;
- 6) радиационный фон;
- 7) магнитное поле Земли;
- 8) характер течений в районе работ;
- 9) скорость и распространение звука в морской воде;
- 10) волнение поверхности, внутренние волны;
- 11) течение (постоянные, приливные);
- 12) химический состав водной среды.

Структура донной поверхности представлена следующими свойствами:

- 1) твердость поверхности;
- 2) рельеф;
- 3) химический состав;
- 4) магнитные свойства пород.

Свойства объекта поиска зависят от наличия в нем компонентов с соответствующими физическими, химическими и другими свойствами, включая габаритные размеры, вес в воздухе и воде.

В общем случае объект может:

- являться источником одного или нескольких видов излучений (видимый диапазон света, звуковые волны, электромагнитное излучение, радиоактивное излучение);
- отражать или поглощать излучение устройства поиска, направленное на объект;
- изменять одно или несколько свойств среды окружающей объект поиска (химические свойства, оптические, температуру, вызывать движение окружающего объема воды, изменять направление магнитного поля Земли, изменять величину ускорения свободного падения).

Для размещения средства поиска на носителе необходимо учитывать следующие свойства:

- 1) геометрические размеры;
- 2) максимальная рабочая глубина;
- 3) максимально допустимая температура среды;
- 4) вес в воздухе и воде;
- 5) максимально допустимая скорость движения носителя;
- 6) типы интерфейсов для сопряжения с другими системами;
- 7) входное напряжение и потребляемая мощность;
- 8) чувствительность или разрешающая способность;
- 9) размеры обследуемого пространства за единицу времени;
- 10) электрохимический потенциал материала корпуса.

Средства поиска могут использовать следующие физические поля:

- 1) магнитные;
- 2) электрические;
- 3) электромагнитные;
- 4) гидродинамические;
- 5) гидроакустические;
- 6) гравитационное;
- 7) тепловое;
- 8) гидрооптическое;
- 9) радиационное;
- 10) гидрохимическое.

Любые свойства объектов и внешней среды в полихроматических графах описываются единым термином «цвета» объекта моделирования. Персональные цвета объекта и внешней среды могут быть единичными и унитарными. Единичный цвет принадлежит конкретному объекту и его существование представляется независимым от других свойств; существование унитарного цвета зависит от других свойств этого объекта и (или) свойств внешней среды. При структурном моделировании сложных объектов и систем единичные и унитарные цвета могут образовывать иерархические структуры, описываемые графами-деревьями восходящей иерархической структуры – при дедуктивном методе решения на основе заданных данных, или деревьями нисходящей иерархической структуры – при индуктивном методе поиска возможных решений. Состав вершин и дуг дерева зависит от требуемого уровня детализации решения.

По выделенным свойствам среды, свойствам объекта поиска и физическим полям проводится анализ существующих средств поиска и выделяются физические поля, на основе которых целесообразно проводить поиск, но технические средства для их регистрации еще

не созданы или не удовлетворяют требованиям по вероятности обнаружения, времени обнаружения, цене, срокам изготовления и др. Если в состав проектного решения входят элементы, физически не существующие или которые не могут быть приобретены на внешних рынках, то переходят к поиску новых технических решений.

Свойства ТПА зависят от свойств среды, свойств средств поиска и свойства компонентов аппарата. Характеристики аппарата, рассматриваемые в работе [5]:

- 1) вес в воздухе/ воде;
- 2) габаритные размеры;
- 3) подведенная мощность;
- 4) упор движительно-рулевого комплекса и максимальная скорость движения ТПА;
- 5) тип интерфейсов для подключения средств поиска;
- 6) выходные напряжения вторичных источников питания и доступная мощность для потребителей;
- 7) виды физических полей, создаваемые ТПА (оказывают влияние на показания средств поиска);
- 8) максимальная рабочая глубина;
- 9) электрохимический потенциал материалов корпусов и рамы аппарата.

Из существующих средств поиска с учетом свойств ТПА выбираются те, которые могут использоваться в данном проекте. Для средств поиска, не прошедших отбор, рассматривается возможность их модернизации для устранения неудовлетворительных свойств.

Свойства и параметры проектируемого подводного аппарата должны быть согласованы с подлежащими совместному использованию элементами производительной системы подводного, надводного и наземного размещения с учетом средств навигации и связи. Аналогичными методами решаются другие проблемы, связанные с выбором или созданием средств механической, оптической, гидроакустической связи, средств обеспечения работ, требуемыми видами энергии, расходных материалов, удалением отходов производства с учетом экологических требований, и т.д.

Предлагаемые методы структурного моделирования апробированы при выполнении НИР в отделе СМ4-2 НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Литература

1. Гурьев А.Т., Павлов В.В. О структурном моделировании метасистем народнохозяйственных комплексов / Труды XVI международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». В 3-х томах. Т.3. – М.: Издательство МЭИ, 2008. – С. 184-192.
2. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях. – М.: Наука, 2006. – 307 с.
3. Соломенцев Ю.М., Павлов В.В. Моделирование производительных систем в машиностроении – М.: Янус-К, 2010. – 228 с.
4. Океанология. Физика океана. В 2-х томах. – М.: Наука, 1978.
5. Ракитин И.Я. Подводные роботехнические системы. – М.: НИП Море, 2002. – 191 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЕСИМО
С АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СУДОВ И ПОДВОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

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, <http://www.ocean.ru>

Предлагается технология взаимодействия ЕСИМО с аппаратно-программными комплексами научно-исследовательских судов и подводного оборудования.

Технология взаимодействия «Единой системы информации об обстановке в Мировом океане» (ЕСИМО) с аппаратно-программными комплексами научно-исследовательских судов и подводного оборудования является составной частью общей технологии информационной поддержки научных исследований Мирового океана, разрабатываемой и эксплуатируемой Центром ЕСИМО РАН (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН).

Для реализации этой технологии разработано программное обеспечение информационно-коммуникационного комплекса информационного взаимодействия ЕСИМО с аппаратно-программным комплексом (АПК) научно-исследовательских судов (ИККВ-НИС). В состав АПК может входить судовое навигационное оборудование и приборы, гидрометеорологические станции, измерительное оборудование опускаемых, буксируемых, телеуправляемых аппаратов, автономных стационарных и подвижных платформ и др. ИККВ-НИС осуществляет передачу информации в реальном масштабе времени с НИС в центры ЕСИМО, а также передачу информации из распределенной базой данных (СРБД) ЕСИМО на НИС по спутниковым или другим доступным каналам связи. Программное обеспечение предоставляет возможность осуществлять обмен метеорологическими, гидрологическими, гидрофизическими, гидрохимическими, гидробиологическими и геолого-геофизическими данными.

ИККВ-НИС включает средства, размещаемые на НИС и в назначенном центре ЕСИМО, обеспечивающий сбор данных экспедиции (рис.1).

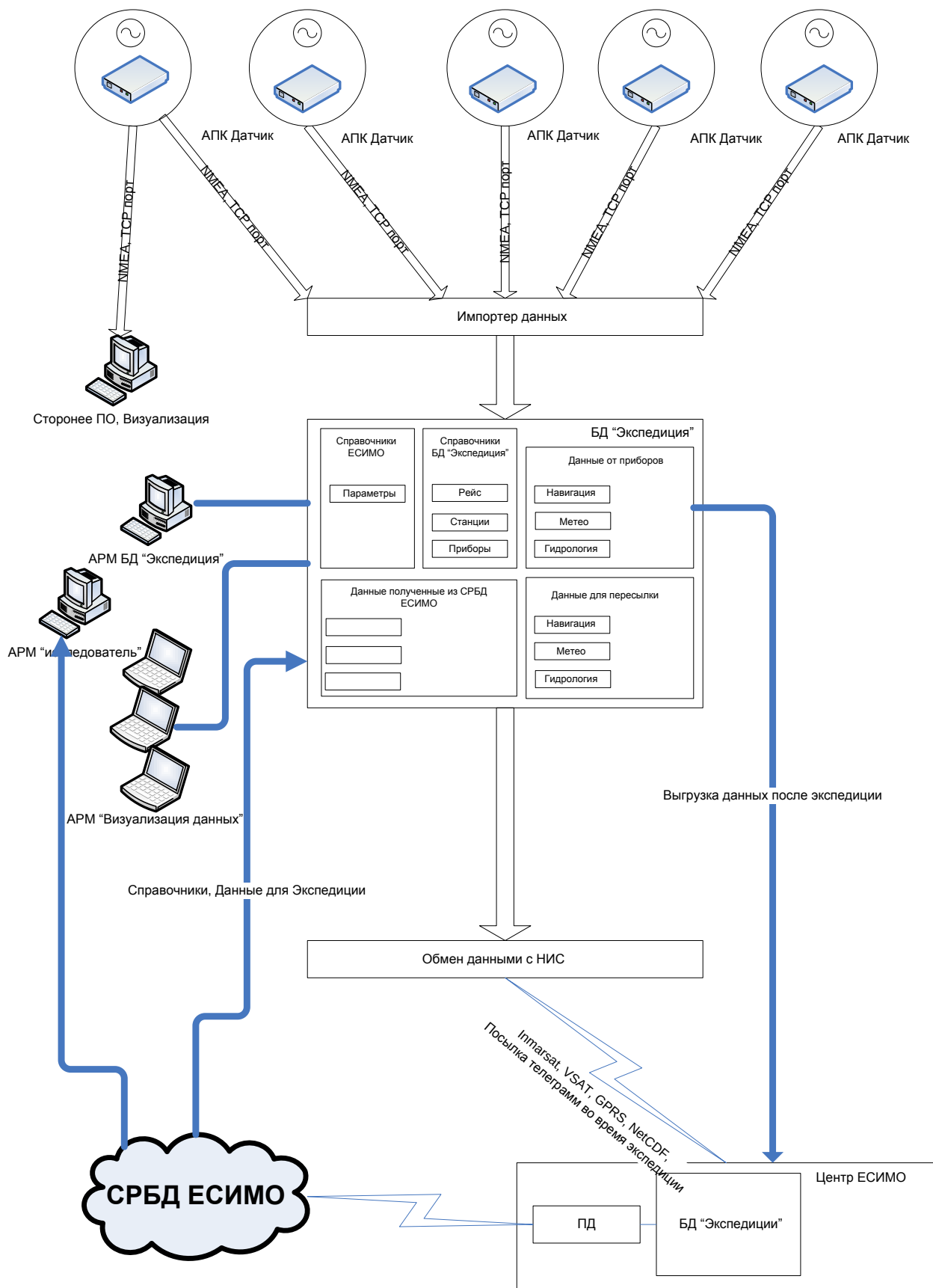


Рис. 1. Структурная схема ИККВ НИС

Программное обеспечение, размещаемое на НИС, включает в себя следующие компоненты:

- АПК «Датчик» состоящий из измерительного оборудования и АПК для получения данных от этого измерительного оборудования и отправки их в судовую сеть по протоколу ТСР;
- компонента «Импортёр данных», предназначенный для чтения данных с портов ТСР;
- компонента «Обмен данными – НИС» - для передачи данных от НИС в центр ЕСИМО по каналам спутниковой связи, включая широкополосное спутниковое вещание;
- база данных «Экспедиция», предназначенная для интеграции и структурированного хранения данных от различного измерительного оборудования на НИС, хранения справочников и метаданных, обработки данных.

Программное обеспечение, размещаемое в центре ЕСИМО, включает в себя следующие компоненты:

- компонента приема и загрузки данных, предназначенная для прямого приема информации от компоненты «Обмен данными – НИС» и мониторинга процессов обмена со стороны центра ЕСИМО, автоматизированной загрузки данных из транспортных файлов NetCDF в базу данных «Экспедиции-Центр ЕСИМО» (рис. 2);

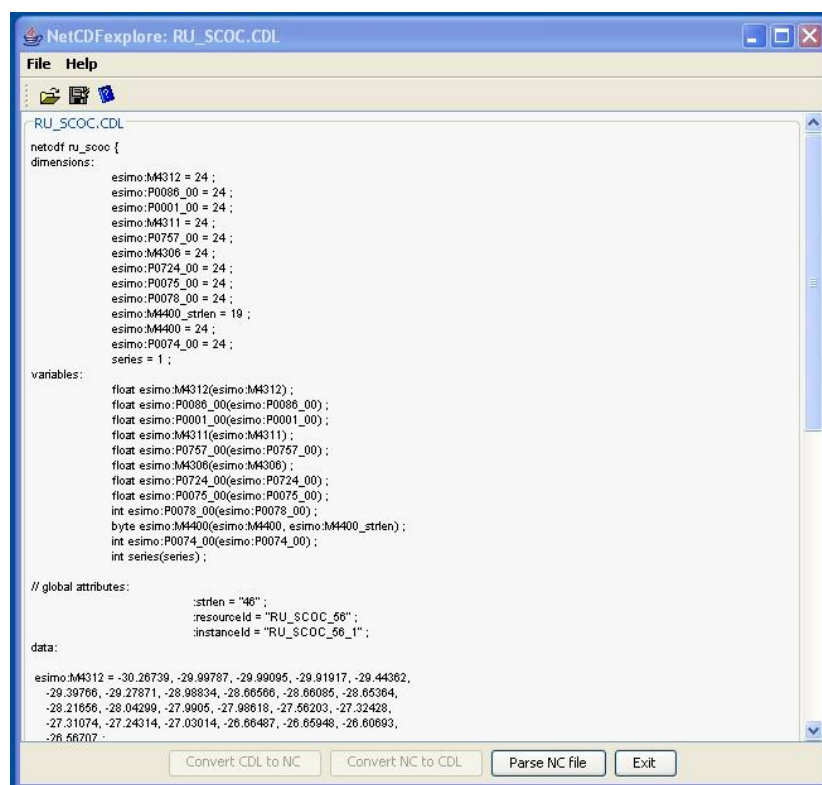


Рис. 2. Компонента приема и загрузки данных из транспортного файла NetCDF в СУБД. (Внутри рабочего окна показана структура транспортного файла RU_SCOC_56_1-18092010-101500)

- база данных «Экспедиции-Центр ЕСИМО», предназначенная для хранения оперативной информации, получаемой от НИС во время рейса, а также полного объема данных после завершения экспедиции. Обеспечивается возможность экспорта данных из БД «Экспедиции-Центр ЕСИМО» по заданным пользователем критериям. Данные отображаются в реальном масштабе времени через WEB-интерфейс по адресу <http://ias.ocean.ru/gis/> (рис. 3).

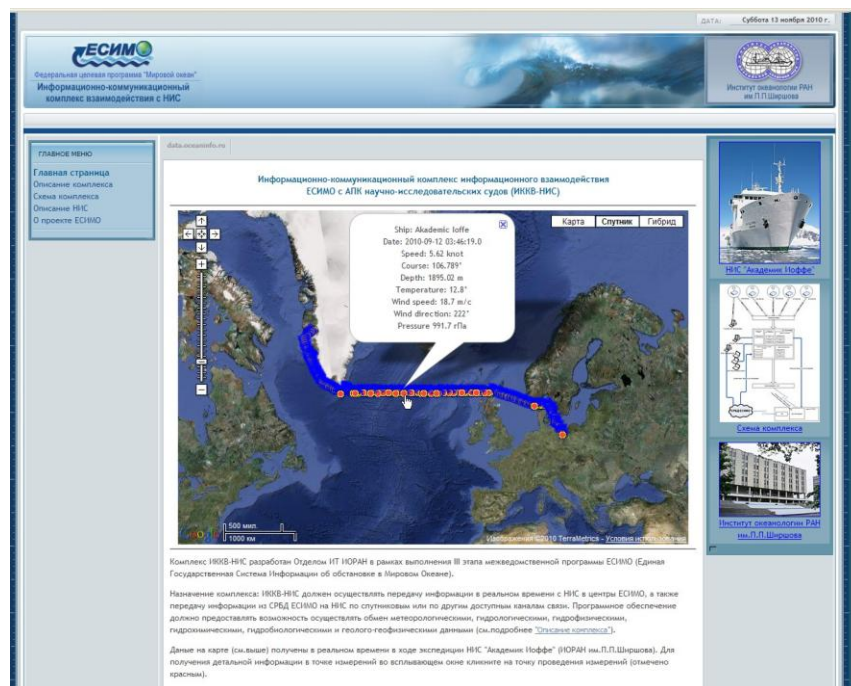


Рис. 3. Отображение информации ИККВ НИС через WEB интерфейс в реальном масштабе времени

Действующий образец ИККВ-НИС протестирован в ходе экспедиции НИС «Академик Иоффе» в 2010 г.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ,
В СОСТАВ КОТОРЫХ ВХОДЯТ МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
«ГИБКАЯ СВЯЗЬ + ТВЕРДОЕ ТЕЛО»

А.В. Зарецкий

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36,
тел.: 8 (499) 129-2745, e-mail: zaretsky@ocean.ru

Рассматривается программа расчета статического равновесия подводных тросовых систем, предназначенная для определения пространственной конфигурации подводных объектов, содержащих гибкие связи.

Подводные тросовые системы (ПТС), такие как заякоренные буйковые станции, буксируемые системы, содержат гибкие связи (троса, буйрепы, кабели и т.п.). Любую механическую систему можно условно разделить на отдельные составляющие, примерно разделив их на твердое тело и голономизированную гибкую связь в виде цепочки твердых тел с идеальными связями. При таких допущениях эту механическую систему можно рассматривать как систему абсолютно твердых тел с голономными связями. Набор таких механических составляющих представляет собой многомерный объект естественного движения. При наличии воли эта система является объектом управления. Отсюда возникает задача целенаправленного движения. Что должен делать робот, двигаясь по своей программе – первая задача, или адаптироваться к среде (обстоятельствам) – вторая задача механики. Наверно все вместе. Все-таки от Лагранжа и Ньютона никто не отошел. Детерминистский метод во многом определяет сущность большей части современных проектов в мире. Здесь я ставлю большое многоточие... Желающим составлю (бесплатно) метрический тензор.

Для формализации расчетов ПТС рассматривается как система абсолютно твердых тел с голономными идеальными связями. Гибкая связь при этом аппроксимируется шарнирно-сочлененным многозвенником. Используемый метод расчета основан на определении ориентации каждого тела в отдельности на базе аксиомы освобожденности от связи с учетом граничных условий с последующей компоновкой в исходную конфигурацию по геометрическим уравнениям связи (структурной матрице) при использовании условий неразрывности. На рис. 1, 2 представлены скрины программы для тяжелого и легкого тела.

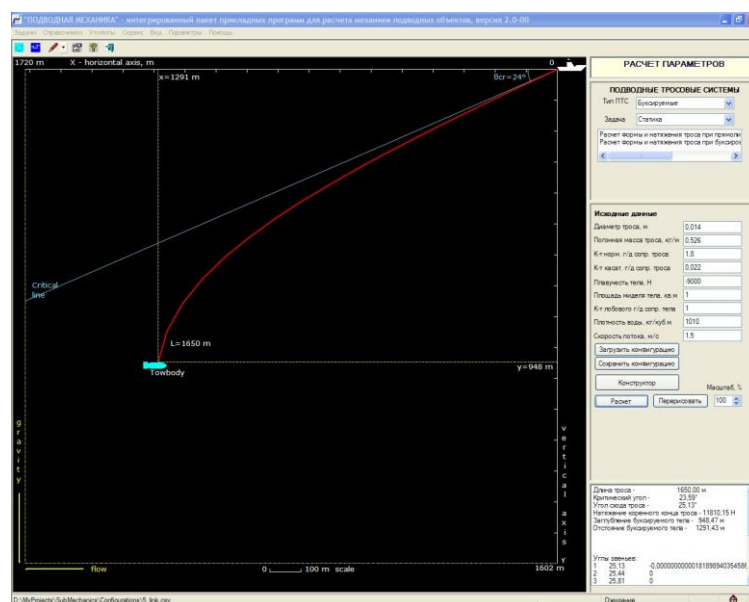


Рис. 1. Скрин программы для тяжелого тела

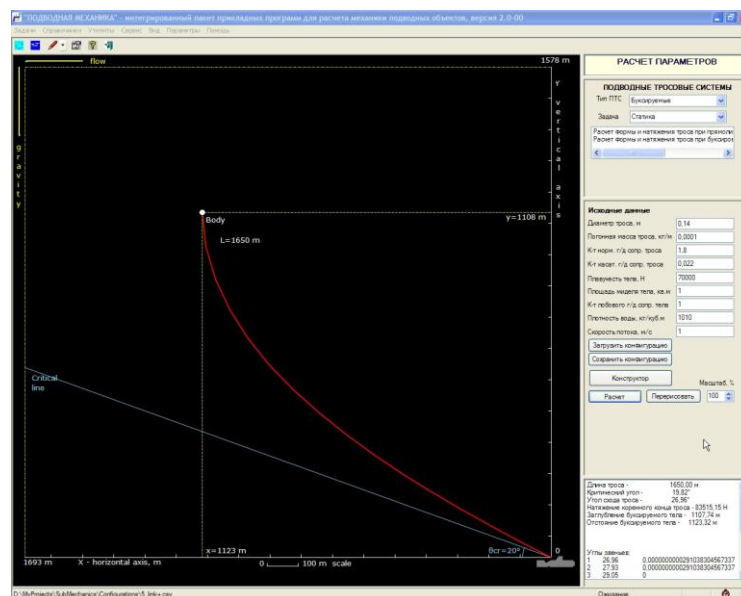


Рис. 2. Скрин программы для легкого тела

Представляемая программа является компонентой разрабатываемого автором в течение многих лет пакета прикладных программ «Подводная механика». Эта компонента позволяет определять форму и натяжение тросовой системы в вертикальной плоскости для двух классов объектов – буксируемых и заякоренных (закрепленных) систем.

С помощью подобной методики с использованием представляемой программы можно рассчитать статическую форму любой незамкнутой ПТС со структурой «дерева», komponуя конфигурацию из отдельных составляющих ее участков «гибкая связь + твердое тело».

Программа адаптирована для использования ее на стадии проектирования подводно-технических средств, а также для оперативного планирования подводно-технических работ в процессе их выполнения. Достоверность получаемых расчетов неоднократно проверена в ходе проведения морских испытаний.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ПЕРЕБОРОЧНЫХ УПЛОТНЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

К.Н. Куликов, С.И. Матвиенко, С.В. Попов¹, Г.В. Герман²

¹ОАО «НИПТБ «Онега», 164509, Северодвинск, пр. Машиностроителей, 12,
тел.: (8184) 52-55-52, факс: (8184) 52-45-39, e-mail: niptb@onegastar.ru

²ГОУ ВПО СПбГМТУ, 190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3, тел.: (812) 713-84-05

Рассматриваются вопросы проектирования кабельных переборочных уплотнений повышенной надежности. Дан анализ существующих конструкций, предложена конструкция уплотнительного устройства повышенной надежности для подводных аппаратов. Приведены результаты теоретического расчета и компьютерного моделирования распространения тепловых полей в конструкции кабельного переборочного уплотнения в условиях пожара. Рассмотрены и проанализированы результаты огневых испытаний опытного образца конструкции. Сформулированы рекомендации по проектированию конструкций кабельных переборочных уплотнений повышенной надежности для подводных аппаратов в части выбора и обоснования основных конструктивно-компоновочных параметров.

Обеспечению пожарной безопасности в судостроении уделяется все большее внимание, что обусловлено ростом насыщенности судов электрооборудованием и средствами передачи электрической энергии. Распространение пожара по кабельным трассам является одной из возможных причин проникновения огня из помещения в смежное помещение. Для обеспечения и поддержания в течение нормируемого времени герметичности противопожарных конструкций между смежными помещениями предусматриваются конструктивные мероприятия: герметичные уплотнения дверей; уплотнение мест прохода трубопроводов и кабелей.

Требования к уплотнению отверстий в местах прохода судовых кабелей через переборки и палубы установлены Правилами [1] и стандартом отрасли ОСТ5Р.6103 [2].

Кабельные уплотнительные устройства можно разделить на следующие виды:

- герметичные кабельные проходки. Представляют собой закрытые сосуды, заполненные огнестойким материалом. Общий недостаток – высокая стоимость;
- модульная система для прокладки кабелей. Представляет собой набор стандартных элементов, с помощью которых можно выполнить переборочное уплотнение;
- универсальные растворы кабельных прокладок. К этому способу относятся универсальные герметики, компаундные составы. Такой способ так же широко распространен за счет своей универсальности.

Следует отметить, что переборочное уплотнительное устройство для помещений типа «отсек-убежище», отвечающее широкому комплексу предъявляемых требований, в настоящее время отсутствует. Применяемые в современном судостроении технологии уплотнения кабелей обладают следующими недостатками:

- применяемые при прохождении через переборки уплотнительные устройства и заполняющие их материалы не позволяют предотвратить прохождение пламени и дыма из помещения, в котором возник и развивается пожар, в смежные помещения;
- форма и способ крепления уплотнительных устройств на переборках делает их уязвимыми от воздействия избыточных давлений, сопровождающих взрывы, что снижает их надежность и может стать причиной разгерметизации помещения.

В докладе представлен опыт разработки специалистами ОАО «НИПТБ «Онега» конструкции уплотнительного устройства для подводных аппаратов. Работа выполнялась в рамках ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009-2016 гг.

Предлагаемое решение заключается в создании новых уплотнительных устройств, предназначенных для обеспечения надежности, долговечности и безопасности кабельных систем при воздействии на них агрессивных факторов (пламя, температура и давление), вызванных возникновением и развитием пожаров. К разрабатываемому уплотнительному устройству предъявляются следующие требования:

- устройство должно обладать лучшими (необходимыми для безопасности экипажа) противопожарными свойствами по сравнению с применяемыми конструкциями;
- огнестойкость устройства должна соответствовать требованиям [1], предъявляемым к судовым конструкциям;
- уплотнительные свойства устройства должны соответствовать требованиям [1, 2];
- устройство должно быть технически реализуемо с учетом использования существующих и перспективных технологий и материалов, применяемых в судостроении;
- устройство должно быть совместимо с существующими электромонтажными технологиями, быть простым и надежным в эксплуатации, ремонтпригодным;
- разрабатываемое устройство должно отвечать требованиям безопасности, как для экипажа аппарата, так и для рабочих, осуществляющих монтаж;
- разрабатываемое устройство должно быть устойчиво к воздействию динамических нагрузок (вибрация, гидравлические удары и т.д.).

В процессе проектирования решались следующие задачи:

- выбор оптимальной конструктивной формы уплотнительного устройства и эффективного противопожарного материала для ее заполнения;
- разработка инженерной методики проектирования уплотнительных устройств.

После проведенных патентных исследований и предварительных теоретических расчетов было выбрано оптимальное сочетание формы и материала для уплотнительных устройств, которое обеспечивает наиболее высокую степень их устойчивости к воздействию пожаров и взрывов. Техническое обоснование конструкции было проведено на стадии эскизного проекта. Конструкция уплотнительного устройства приведена на рис. 1, трехмерная модель опытного образца – на рис. 2.

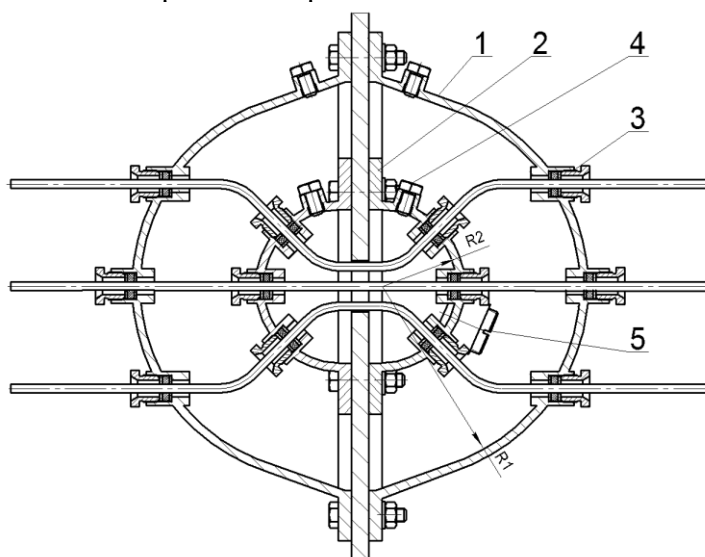


Рис. 1. Конструкция переборочного кабельного уплотнения: 1 – наружный корпус устройства; 2 – внутренний корпус; 3 – сальник; 4 – бонка для выхода воздуха; 5 – гнездо для наполнения компаундом

Уплотнительное устройство с каждой стороны переборки конструктивно выполнено в виде двух корпусов – внешнего и внутреннего, имеющих форму полусферы.

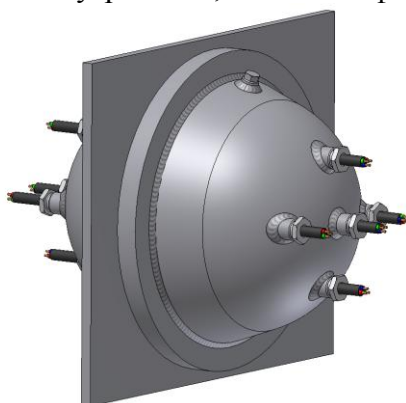


Рис. 2. Трехмерная модель конструкции опытного образца уплотнительного устройства

Пространство между наружным и внутренним корпусом заполнено огнетушащим порошком «Волгалит-АВС». Пространство внутреннего корпуса заполнено компаундом «Силотерм ЭП-120». Внешний и внутренний корпуса защитного устройства крепятся к прочной переборке при помощи болтовых соединений. Для предотвращения распространения тепла через болтовые отверстия внешнего корпуса устанавливается защитное уплотнительное кольцо. Ввод кабеля во внешний корпус осуществляется через стандартные сальники. Ввод кабеля во внутренний корпус осуществляется через гнезда, заполненные компаундом «Силотерм ЭП-71», что позволяет упростить монтаж устройства. При модернизации конструкции возможно применение других перспективных материалов (металлы, металлокерамика и т.п.) и новых огнегасящих порошков, по мере их создания и внедрения в судостроении и смежных отраслях промышленности.

Разработанная конструкция имеет два механизма защиты:

- прочностной – защита отсека от разгерметизации при воздействии избыточного давления воздуха, возникающего при взрывах, которые могут сопровождать пожар, а также давления забортной воды в случае затопления судовых помещений;

- огнезащиты – защита отсека от проникания пламени в случае пожара.

Прочностной механизм заложен в конструкции уплотнительного устройства, корпуса которого имеют сферическую форму, как наиболее устойчивую к воздействию разрушительной внешней нагрузки, возникающей в результате аварийных ситуаций. При этом полость внутреннего корпуса заливается компаундом, а проход кабеля во внешнем корпусе осуществляется через сальники для обеспечения водонепроницаемости и повышения огнестойкости уплотнительного устройства.

Кроме того, использование таких устройств позволяет значительно уменьшить размер отверстий в переборках и палубах для прохода кабельных трасс, а современные технологии, используемые в судоремонте и судостроении, позволяют в кратчайшие сроки освоить и наладить выпуск устройств сферической формы без организации новых производств.

Механизм огнепреграждения выглядит следующим образом:

- при распространении огня по горючей изоляции наступает момент, когда передний фронт пламени доходит до внешнего корпуса и начинает проникать вовнутрь. При этом возникает контакт с огнетушащим порошком, который оказывает тушащее воздействие на пламя и тем самым препятствует его распространению. Объем между наружным и внутренним корпусом данной конструкции зависит от суммарной площади проходящих кабельных трасс и может быть рассчитан по огнетушащей способности порошка;

- при дальнейшем распространении огня до внутреннего корпуса «Силотерм ЭП-120» под избыточным давлением внутренних газов заполняет трещины в оболочке кабеля, при

этом начинает образовываться вулканитовая корка. Затем «Силотерм ЭП-120» заполняет трещины в огнезащитном покрытии и замещает выгоревшую изоляцию кабелей. Образуется монолитная вулканитовая корка со стороны пожара.

Таким образом, кабель в уплотнительном устройстве окружается сплошным изолирующим слоем, который, вспениваясь при воздействии огня, обеспечивает локализацию пожара и препятствует возможности распространения огня по кабельным проходам.

К преимуществам использования огнетушащего порошка в составе уплотнительного устройства можно отнести:

- хорошие противопожарные свойства;
- способность исполнять роль механического демпфера;
- универсальность (тушат пожары всех классов) и возможность использования в широком диапазоне температур от минус 50 до плюс 50°C;
- низкая теплопроводность и экологическая безопасность;
- высокая технологичность и низкая стоимость.

Система пассивной огнезащиты уплотнительного устройства с применением огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» и компаунда «Силотерм ЭП-120» обеспечивает простоту монтажа, высокую надежность даже в экстремальных условиях эксплуатации, экономическую эффективность, абсолютную герметичность и высокую огнестойкость. В то же время, при небольших материальных затратах, конструкция уплотнительного устройства с элементами огнезащитного уплотнения обеспечивает композиционную целостность и стилевое соответствие формы современному уровню развития судовой техники.

Для обоснования конструктивного исполнения опытного образца кабельного уплотнительного устройства были проведены предварительные расчеты. В качестве расчетной схемы был рассмотрен процесс переноса теплоты теплопроводностью, который происходит между сферами с заданными значениями температуры на обогреваемой (внутренней) и на необогреваемой (внешней) поверхностях, причем среда между сферами имеет переменный коэффициент теплопроводности.

На первом этапе данной работы для определения основных конструктивно-компоновочных решений в процессе проектирования уплотнения был применен упрощенный метод расчета температурного поля на необогреваемой стороне уплотнения. Для расчета принят закон изменения температуры со стороны обогреваемой части уплотнения T , °C, который, в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 [3], имеет вид

$$T = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0, \quad (1)$$

где τ – время, исчисляемое от начала процесса обогрева, мин; T_0 – температура окружающей среды, °C.

В основу расчетов заложена модель поведения уплотнительной конструкции во время и после пожара при условии, что уплотнительная конструкция должна обеспечить непроницаемость и герметичность с проложенными через нее кабелями. Определение размеров уплотнительного устройства сводится к вычислению радиусов R_1 и R_2 внешнего и внутреннего корпусов уплотнительного устройства.

Определение радиуса R_2 внутреннего корпуса проводилось математическим методом и макетированием по полезным площадям в соответствии с диаметрами и количеством проходящих через них кабелей с учетом ряда конструктивных допусков.

Расчет критического давления для внутреннего корпуса уплотнительного устройства для проверки на прочность выполняется в соответствии с рекомендациями стандартов отрасли [4, 5]. Для подтверждения прочности разработанной конструкции в случае затопления помещения аппарата был выполнен расчет прочности в программе Autodesk Inventor методом конечных элементов.

Для определения внешнего радиуса R_1 была разработана математическая модель [6], которая позволяет в полном объеме решать задачи расчета. Входящие в уравнение параметры (коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость огнегасящего порошка; теплофизические свойства материала) получены из справочной литературы.

Для подтверждения полученных в результате расчетов выводов было проведено компьютерное моделирование в программе Flow Vision 2.3.0 [7]. Для расчета были выбраны следующие исходные данные: трехмерная модель переборочного уплотнения располагается по центру участка переборки с размерами 1000×1000 мм; нагревом уплотнения будет имитироваться пожар в смежном объеме; удельный тепловой поток нагрева мощностью 40 кВт/м²; измерения будут проводиться в моменты времени, соответствующие 15, 30, 45 и 60 мин с начала нагрева.

По результатам проведенных исследований были определены пути дальнейшего совершенствования конструкции:

- дополнительная защита узлов крепления внешнего корпуса к переборке для повышения огнезадерживающих свойств;
- применение тепловой изоляции наружной поверхности внешнего корпуса;
- улучшение технологичности конструкции корпусов с точки зрения изготовления с учетом освоенных технологических процессов и применяемого оборудования.

Необходимо отметить, что предварительные огневые испытания опытного образца уплотнительного устройства, проведенные в испытательной печи в соответствии с требованиями ГОСТ 30247.0-94 [3] с учетом «Рекомендаций по методике испытаний на огнестойкость перекрытий классов «А» и «В» ИМО А.754 (18) подтвердили достоверность результатов, полученных при расчетах и компьютерном моделировании.

Выводы

В результате выполнения работы разработана конструкция опытного образца уплотнительного устройства, создана компьютерная модель, позволяющая в реальном масштабе времени получать картины тепловых полей переборочного кабельного уплотнения при различных величинах тепловых потоков со стороны обогреваемой части.

Полученная модель позволяет решать поставленные задачи в полном объеме и может быть использована для выполнения работ по дальнейшему совершенствованию конструкции кабельных уплотнительных устройств для подводных аппаратов.

Литература

1. Правила Российского Морского Регистра судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование».
2. ОСТ5Р.6103-76. Изделия уплотнительные для электрических кабелей и проводов. Общие технические условия. [Текст]. – Введ. 1978–01–01. М., 1977.
3. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. – Введ. 1996–01–01. М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996.
4. ОСТ5Р.1180-93. Суда. Методы и нормы испытаний на непроницаемость и герметичность. [Текст]. – Взамен ОСТ5.1180-87 ; введ. 1994–07–01. –ЦНИИ «Лот».
5. ОСТВ5.1013-80. Переборки межотсечные стальные изделий 21. Правила и нормы проектирования. [Текст]. – Введ. 1980–01–01. М., 1980.
6. 920.211.937. Разработка математической модели расчета конструктивных параметров уплотнительных устройств. Отчет [Текст]. – Введ. 2006. – Северодвинск : ФГУП НИПТБ «Онега».
7. ЯНМИ.305318.024Д2. Устройство уплотнительное. Моделирование термических испытаний. Научно-технический отчет [Текст]. – Введ. 2010. – Северодвинск : ОАО НИПТБ «Онега».

СПОСОБ ПРИЕМА В ПОДВОДНУЮ ЛОДКУ АВТОНОМЕННЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

А.В. Гетьман

Тихоокеанский военно-морской институт имени С.О. Макарова
ВУНЦ ВМФ «ВМА» (филиал г. Владивосток)
690062, Владивосток, Камский переулок, 6, тел./факс: (423) 2367-287

В докладе представлены результаты исследований в области создания средств размещения, выпуска буксирных устройств и приема на ходу в подводном положении на подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов военного назначения. Новое техническое решение относится к автоматизированным средствам приема объектов в подводную лодку в подводном положении. Представлены описание способа, конструкции устройств захвата, приема и выпуска через горизонтальный кормовой стабилизатор из кормового отсека подводной лодки автономных необитаемых подводных аппаратов.

Введение

На протяжении ряда лет предпринимаются попытки увеличить эффективность борьбы на море. Ключевым моментом здесь является совершенствование основных тактико-технических характеристик существующих систем вооружения и военной техники, стоящей на вооружении флотов государств.

Важнейшей задачей ученых, работающих в интересах военно-промышленного комплекса является разработка перспективных и новых образцов военной техники и вооружения. Совершенствование морского оружия, в частности, средств для приема в подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов, разработка новых типов технических образцов, в том числе и не имеющих аналогов, все это является серьезной помощью флоту и центральным НИИ страны. Тем более что в процессе проектирования и совершенствования занят интеллект как ученых вузов региона, так и командиров-эксплуатационников боевой техники.

1. Опыт создания устройств приема автономных необитаемых подводных аппаратов на борт подводной лодки

В рамках выполнения ВМС США программы создания системы минной разведки LMRS (Long-term Mine Reconnaissance System), в США создана система, получившая обозначение AN/BLQ-11. Система состоит из двух необитаемых подводных аппаратов (НПА), управляемых по оптоволоконному кабелю, а также комплекта корабельного и берегового оборудования. Сами аппараты и их корабельное оборудование на период выполнения боевой задачи размещаются на стеллажах торпедного отсека атомных подводных лодок типов «Los Angeles» и «Virginia». Работа НПА осуществляется по заданной программе. НПА для приема на борт подводной лодки (ПЛ) с помощью собственного двигателя перемещается по гидроакустическим сигналам своей гидроакустической станции (ГАС), подходит к нижнему носовому торпедному аппарату одного борта ПЛ. Захват НПА и направление его в нижний торпедный аппарат для расположения на стеллаже осуществляется телескопическим манипулятором, расположенным в верхнем торпедном аппарате ПЛ.

Способ приема НПА реализуют с помощью устройства для приема НПА, включающего два носовых торпедных аппарата одного борта ПЛ и телескопический манипулятор, расположенный в верхнем торпедном аппарате [1].

В рамках выполнения ВМС США программы, получившей на первом этапе наименование «Срочная система минной разведки» – NMRS (Near-term Mine Reconnaissance System), а на втором – «Долгосрочная система минной разведки» FTRS (Far-term Reconnaissance System), разработаны НПА, возвращаемые на ПЛ и управляемые по оптоволоконному кабелю. Система включает два привязных НПА, оборудование для их выпуска и приема, а также систему управления и контроля на борту ПЛ. НПА выпускается через торпедный аппарат и выходит наружу под действием собственного движителя, после чего он остается связанным с ПЛ с помощью стального кабель-троса и оптоволоконного кабеля, поддерживаемых буюми.

Способ приема такого НПА в трубу носового торпедного аппарата ПЛ в подводном положении осуществляют путем затягивания его с помощью лебедки, выбирающей стальной кабель-трос. Привязной НПА перемещают к носовой части ПЛ, снижают его скорость и стопорят движитель. На заключительном этапе приема НПА на кабель-тросе медленно лебедкой затягивают в трубу носового торпедного аппарата ПЛ и размещают в носовом отсеке на стеллаже. Этот способ реализуют с помощью устройства, включающего лебедку со стальным кабель-тросом, буй и систему управления и контроля на борту ПЛ. Причем стальной кабель-трос и оптоволоконный кабель поддерживаются буюми с нейтральной плавучестью [1].

Наиболее близким по техническому совершенствованию к разработанному устройству является устройство, используемое в ВМС США для возвращения в подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) специального назначения [1].

Данная система возвращения АНПА, используется в соединении со штатной носовой трубой торпедного аппарата подводной лодки. Система включает: внешний цилиндр, предназначенный для стыковки с трубой торпедного аппарата внутри подводной лодки, причем в задней части внешнего цилиндра имеются вводы под кабель-трос и штуцер трубопровода насоса. Устройство включает три телескопических выдвигающихся концентричных полых цилиндра с каналами между ними, через каналы соответствующее пространство устройства системы заполняется забортной водой. При этом во внутренний цилиндр, имеющий с одной стороны раструб, установлен привязной аппарат возвращаемый (ПАВ). В торпедном отсеке подводной лодки за внешним цилиндром установлена лебедка, втягивающая состыковавшиеся ПАВ с АНПА в торпедный аппарат подводной лодки. Операция по возвращению в подводную лодку АНПА начинается со стыковки переднего фланца внешнего цилиндра устройства системы возвращения с торпедным аппаратом. Затем передняя крышка торпедного аппарата открывается и труба торпедного аппарата с устройством возвращения заполняется забортной водой. Насос нагнетает воду в пространство за вставкой с шаровым замком и ПАВ. После этого вода выталкивает из наружного цилиндра два телескопических внутренних цилиндра, причем во втором находится ПАВ. В это время АНПА, движущийся впереди подводной лодки, останавливается за носовой частью подводной лодки перед вырезом в легком корпусе подводной лодки (где расположены ее торпедные аппараты). ПАВ, двигаясь своим ходом, из внутреннего цилиндра через торпедный аппарат покидает этот торпедный аппарат подводной лодки. Затем ПАВ с помощью системы самонаведения находит АНПА и, используя свой носовой выступ, стыкуется с конической кормовой частью АНПА. Лебедка, расположенная в торпедном отсеке ПЛ, втягивает состыкованные ПАВ и АНПА во внутренний цилиндр, пока коническая кормовая часть АНПА не войдет в раструб цилиндра. После этого все устройство системы возвращения с ПАВ и АНПА втягивается лебедкой в трубу торпедного аппарата, причем внутренние телескопические цилиндры складываются. Передняя крышка торпедного аппарата закрывается, торпедный аппарат и полости устройства системы возвращения осушаются, после чего открывается задняя крышка торпедного аппарата, из трубы торпедного аппарата извлекается сначала ПАВ, а затем АНПА.

2. Недостатки известных устройств приема автономных необитаемых подводных аппаратов на борт подводной лодки

Из анализа известных устройств системы AN/BLQ-11 следует, что к недостаткам способа в описанном устройстве приёма НПА на борт ПЛ относятся [2]:

- необходимость стабилизации глубины погружения атомной ПЛ без ее хода в период приема НПА на ПЛ;
- сложность управления телескопическим манипулятором при его захвате и направлении НПА в торпедный аппарат ПЛ;
- риск взаимных повреждений НПА и атомной ПЛ в случае неточности маневрирования НПА или работы телескопического манипулятора на ПЛ.

В результате анализа следующей известной системы ВМС США для приема НПА на борт ПЛ, так называемой «Срочной системы минной разведки» – NMRS (Near-term Mine Reconnaissance System), а на втором этапе – «Долгосрочной системы минной разведки» FTRS (Far-term Reconnaissance System), специалистами разработаны НПА, возвращаемые на ПЛ и управляемые по оптоволоконному кабелю. Недостатками указанного способа при его реализации с помощью описанного устройства являются [2]:

- ограничение маневренности НПА и ПЛ длиной кабель-троса и оптоволоконного кабеля и наличием поддерживающих буюв, что непосредственно сказывается на выполнении задач, поставленных перед НПА;
- необходимость стабилизации глубины погружения ПЛ без ее хода в период приема НПА на ПЛ;
- предрасположенность буксирного кабель-троса и оптоволоконного кабеля с буюми к запутыванию, как при маневрировании НПА и ПЛ, так и при приеме НПА на борт ПЛ.

Из анализа результатов работы одного из последних известных устройств, реализованных в ВМС США для возвращения в подводную лодку АНПА специального назначения следует [2]:

- необходимость стабилизации подводной лодки без ее хода при приемке АНПА в подводную лодку;
- необходимость стабилизации глубины погружения подводной лодки в момент приемки АНПА на борт подводной лодки;
- риск потери АНПА из-за отказа системы наведения или стыковочного узла ПАВ;
- предрасположенность кабель-троса к запутыванию, провисанию и обрывам в случае его наматывания на стабилизаторы рулей управления, гребной винт движителя, корпус ПАВ или АНПА в процессе поиска и стыковки с АНПА;
- предрасположенность кабель-троса ПАВ к запутыванию и обрывам вследствие его малоподвижности и провисания в процессе выборки лебедкой;
- ограничение (длиной кабель-троса) маневренности ПАВ при поиске, подходе и стыковке с АНПА;
- риск взаимного повреждения ПАВ или АНПА в случае неточности маневрирования ПАВ при стыковке с АНПА;
- риск взаимного повреждения узлов системы возвращения ПАВ или АНПА о корпус и выступающие части подводной лодки при втягивании лебедкой ПАВ с АНПА в трубу торпедного аппарата ПЛ;

Из перечисленных недостатков выше описанных устройств вытекают основные задачи исследований в области создания нового технического решения для приёма АНПА в подводном положении на ходу ПЛ.

3. Пути реализации способа и устройства, возможные направления решения проблемы приема автономного необитаемого подводного аппарата на борт подводной лодки

В результате исследований в области создания средств размещения, выпуска буксирных устройств и приема на ходу в подводном положении на подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) разработано техническое решение [2]. Суть решения заключается в следующем: новое техническое решение относится к средствам размещения, выпуска буксирных устройств и приема АНПА, в частности к способу приема АНПА в подводную лодку на ее ходу в подводном положении и устройству для его осуществления.

Разработанное и описанное техническое решение относится к автоматизированным средствам приема объектов, в подводную лодку в подводном положении.

Разработаны способ, конструкция устройств захвата, приема и выпуска через горизонтальный кормовой стабилизатор в кормовом отсеке подводной лодки автономных необитаемых подводных аппаратов.

Выполнена и представлена необходимая инженерно-техническая проработка предложенного технического проекта. Полученные в работе результаты исследований, проектные и конструктивные рекомендации впервые создают основу для комплексного и эффективного решения проблемы приема на ходу подводной лодки АНПА.

Предложенное техническое решение расширяет и улучшает боевые и эксплуатационные характеристики морского оружия, повышает боевую эффективность тактической системы подводная лодка – подводный аппарат.

4. Краткое описание нового способа приема в подводную лодку автономного необитаемого подводного аппарата и устройство для его осуществления

Устройство приема автономных необитаемых подводных аппаратов на борт подводной лодки работает следующим образом (рис. 1) [2]: с подводной лодки выпускают буксирный кабель-трос с гидроакустическими маркерами и поплавком-отводителем, затем подают переменное напряжение на гидроакустические маркеры, в результате чего маркеры излучают тональный сигнал. По программе необитаемый подводный аппарат перемещают в заданную относительно маркеров позицию, затем с подводного аппарата выпускают приемную стропу с устройством захвата и фиксации буксирного кабель-троса. Разворачивают подводный аппарат относительно буксирного кабель-троса на траверзный курсовой угол и перемещают наперерез движению буксирного кабель-троса через участок между гидроакустическими маркерами. В результате пересушивания буксирного кабель-троса и приемной стропы осуществляют захват буксирного кабель-троса и фиксацию на нем подводного аппарата. После фиксации АНПА с помощью лебедки затягивают в кормовую трубу горизонтального стабилизатора и в кормовой отсек подводной лодки.

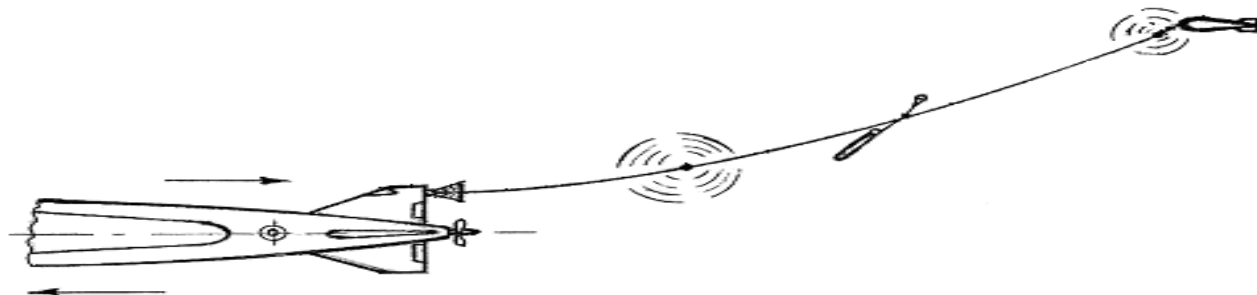


Рис. 1. Способ приема в подводную лодку АНПА и устройство для его осуществления

Конструкция устройства для реализации способа содержит: средство для стыковки расположенное на подводной лодке и на АНПА, и приемную установку, расположенную на подводной лодке (рис. 2).

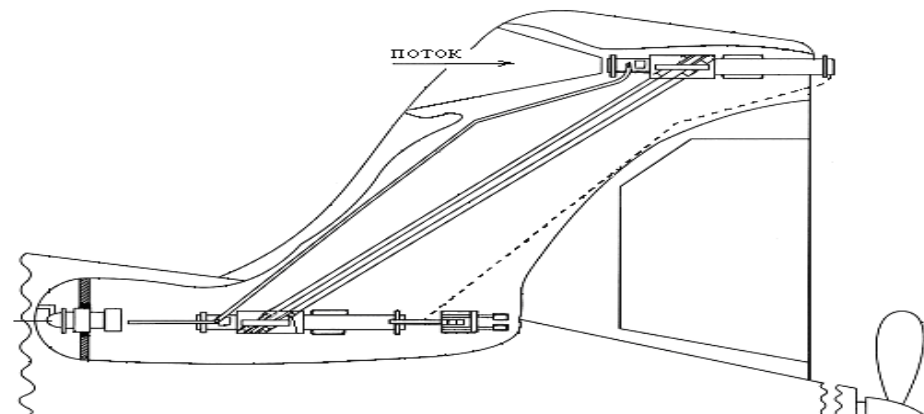


Рис. 2. Фрагмент кормовой оконечности подводной лодки с кормовым горизонтальным стабилизатором и устройством выпуска буксирного кабель-троса и приема АНПА

Согласно техническим условиям, приемная установка расположена в кормовом горизонтальном стабилизаторе подводной лодки. Средство для стыковки включает трубу с подвижной и неподвижной частями, причем труба расположена в кормовом горизонтальном стабилизаторе подводной лодки (см. рис. 2). При этом в подвижной части трубы расположен причальный конус (на рис. 2 не показан), через который проходит ходовой конец буксирного кабель-троса, намотанного на лебедку, закрепленного на ней коренным концом и электрически соединенного с гидроакустической станцией подводной лодки. Неподвижная кормовая часть трубы имеет заднюю крышку с приводом ее открывания и закрывания, а подвижная носовая часть трубы – переднюю крышку. Неподвижная и подвижная части трубы расположены в основании горизонтального стабилизатора подводной лодки и снабжены приводом стыковки и расстыковки кормовой и носовой частей трубы и передней крышки. На ходовом конце буксирного кабель-троса закреплен поплавко-отводитель, между поплавко-отводителем и коренным концом буксирного кабель-троса установлены разнесенные друг от друга два гидроакустических маркера. Лебедка с намотанным на нее буксирным кабель-тросом с маркерами закреплена на подвижной части трубы в верхней передней ее части, а поплавко-отводитель вставлен в приемное устройство. В оконечности кормового горизонтального стабилизатора подводной лодки установлены кормовые щиты, прикрепленные к набору легкого корпуса стабилизатора, с приводом их открывания и закрывания. Диффузор с носовым щитом и приводом его открывания и закрывания и установка снабжены кареткой носовой части трубы с приводом ее перемещения и направляющими дорожками трассы перемещения каретки. При этом носовая часть трубы установлена на каретке с возможностью продольного перемещения в ней и снабжена фланцами и направляющим штоком, введенным в направляющую дорожку перемещения штока, кормовая часть трубы и передняя крышка снабжены уплотнительными кольцами под фланцы. На носовой части трубы смонтированы стопор и прибор ввода данных, которые электрически соединены с боевой информационно-управляющей системой подводной лодки. Средство для стыковки АНПА с подводной лодкой представляет собой приемную стропу с устройством захвата буксирного кабель-троса и устройством их выпуска, которое скомпоновано в обтекателе на контрпропеллере в кормовой части насадки водометного движителя АНПА (рис. 3).

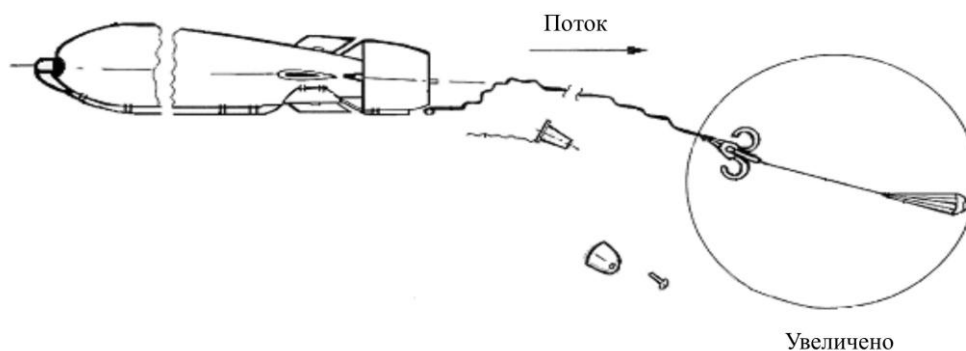


Рис. 3. Автономный необитаемый подводный аппарат с водометным движителем после отстрела стягивающего разрывного болта, в момент сброса обтекателя, катушки и выпуска стабилизирующего зонда с кольцевым замком

Средство для стыковки в сборе, в обтекателе расположено в кормовой части водометного движителя АНПА за гребным колесом и ступицей (см. рис. 3). Оно состоит из жесткой пробки в центре контр-пропеллера в которую ввернут стягивающий разрывной пиротехнический болт. При этом, под обтекателем устройство содержит катушку, на которую кольцами намотана буксирная приемная стропа в виде кабель-троса с токоведущими жилами, соединенными посредством электроразъема с бортовой системой управления АНПА. Обтекатель через свое отверстие в вершине надет на стягивающий разрывной болт, приемная стропа в сложенном состоянии коренным концом прикреплена к устройству для подвеса АНПА, установленному в носовой части корпуса подводного аппарата с возможностью поворота этого устройства вокруг своей оси для надежной постановки АНПА на буксирный кабель-трос. А на ходовом конце буксирной приемной стропы закреплено устройство захвата буксирного кабель-троса.

Выпуск АНПА для выполнения своей миссии осуществляется из кормового отсека через устройства кормового стабилизатора ПЛ в обратной последовательности работы устройства механизмов приема АНПА (не рассматривается).

В тактических операциях подводного приема – выпуска АНПА, посредством указанного способа и устройства, предусмотрена возможность многократного выпуска и приема АНПА с ПЛ на ее малом ходу.

Подводная лодка в подводном положении на ходу, оснащенная указанным способом и устройством, способна осуществлять широкий круг специальных операций по приему на борт различных (подвижных и неподвижных) подводных объектов в форме тел вращения, диаметром до 533 мм.

5. Преимущество нового способа и устройства

Новая совокупность известных и отличительных признаков описанного способа обеспечивает не только выпуск АНПА, но и надежный прием АНПА в подводную лодку в подводном положении на ее малом (инверсионном) ходу (при котором возможно управление ПЛ) путем постановки АНПА на буксирный кабель-трос (без непосредственного контакта АНПА с корпусом ПЛ) и затягивания кабель-троса с АНПА в причальный конус, установленный в подвижной трубе, которая расположена в горизонтальном стабилизаторе кормового отсека ПЛ.

В данном случае отличительными признаками от известных ранее устройств являются (см. рис. 1):

- установленные в кормовом горизонтальном стабилизаторе ПЛ приемное устройство в виде причального конуса, расположенное в подвижной части трубы; лебедка с буксирным кабель-тросом, на котором установлены гидроакустические маркеры и

поплавок-отводитель, при этом коренной конец кабель-троса закреплен на лебедке, ходовой конец проходит через приемное устройство, а лебедка установлена на подвижной части трубы в верхней передней ее части;

- установленные на АНПА (см. рис.3) средство для стыковки в виде приемной стропы с устройством захвата буксирного кабель-троса и устройством их выпуска.

Именно такая совокупность существенных признаков позволила разработать устройство для надежного приема АНПА в подводную лодку в подводном положении на ее малом ходу (при котором возможно управление ПЛ) путем постановки АНПА на буксирный кабель-трос (без непосредственного контакта АНПА с корпусом ПЛ) и затягивания кабель-троса с АНПА в причальный конус, установленный в подвижной трубе, которая расположена в горизонтальном стабилизаторе кормового отсека ПЛ.

Следовательно, предложенный способ и устройство соответствуют современному уровню техники и пригодны для промышленного применения в военном подводном кораблестроении и внедрении на подводных кораблях ВМФ [2; 3].

6. Пути реализации результатов исследований

Технический результат работы состоит в разработке нового способа и устройства для надежного приема АНПА в подводную лодку, в подводном положении на ходу подводной лодки.

Предложенное техническое решение [2; 3] расширяет и улучшает боевые и эксплуатационные характеристики морского оружия, повышает боевую эффективность тактической системы подводная лодка – подводный аппарат.

Научно-исследовательская работа (НИР) продолжает цикл научных работ, целью которых является внедрение и совершенствование средств для приема в подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов.

Результаты НИР могут быть рекомендованы и использованы в КБ, НИИ при проектировании подводных лодок и средств для приема в подводную лодку АНПА военного назначения. Выполнена и представлена необходимая инженерно-техническая проработка предложенного технического проекта.

Ожидаемый положительный эффект от внедрения НИР заключается в технических предложениях и рекомендациях по проектированию новых образцов военной техники в системах оружия ВМФ.

Полученные в работе результаты исследований, проектные и конструктивные рекомендации впервые создают основу для комплексного и эффективного решения проблемы приёма на ходу подводной лодки автономного необитаемого подводного аппарата.

Заключение

Разработано и запатентовано рабочее устройство для приема в подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов [2].

Технический результат в предложенном решении достигается тем, что новое устройство содержит комплекс технических средство для захвата, стыковки и приема автономного необитаемого подводного аппарата в подводную лодку в подводном положении. Расположенное на подводном аппарате. Средство для захвата и приема аппарата включает трубу с подвижной и неподвижной частями, расположенные на подводной лодке. Постановка АНПА на буксирный кабель-трос осуществляется благодаря взаимному пересучиванию буксирного кабель-троса, выпускаемого с кормовой оконечности ПЛ, и приемной стропы АНПА, в результате которого кабель-трос захватывается кольцевым замком и фиксируется на контактной шайбе. Взаимное пересучивание кабель-троса и приемной стропы достигается благодаря буксировке кабель-троса подводной лодкой при заданной его ориентации (буксирный кабель-трос под воздействием поплавка-отводителя и

набегающего потока ориентирован в пространстве по дуге, направленной к поверхности воды) и перемещению АНПА наперерез движению буксирного кабель-троса на участке между маркерами ГАС.

Предложенный способ и устройство обеспечивают надежный прием АНПА в подводную лодку в подводном положении на ее малом ходу (при котором обеспечено надежное управление ПЛ) путем постановки АНПА на буксирный кабель-трос (без непосредственного контакта АНПА с корпусом ПЛ) и затягивания кабель-троса с АНПА в трубу, расположенную в кормовом отсеке ПЛ.

Новое техническое решение позволяет упростить операцию приема АНПА в ПЛ, так как постановка АНПА на буксирный кабель-трос исключает сложную задачу точного подхода АНПА к ПЛ и захват АНПА с помощью манипулятора.

В процессе приемки АНПА ПЛ (при необходимости) может осуществить маневрирование, то есть изменить скорость хода и глубину погружения, при этом АНПА, ориентируясь по маркерам, следует за ПЛ. Этот вариант обеспечивает большую возможность тактического маневрирования ПЛ. Устройство может быть использовано для многократного выпуска и приема АНПА.

Кроме того, новое решение позволяет отказаться от технической сложной задачи стабилизации глубины погружения ПЛ без хода ПЛ (так как ПЛ принимает АНПА в кормовой отсек ПЛ через горизонтальный стабилизатор) и принимать АНПА в ПЛ любых проектов, если их кормовые части оборудовать предлагаемым устройством.

Область использования работы – военная. Эффективность работы связана с дальнейшим совершенствованием систем вооружения и военной техники военно-морского флота.

Выработаны предложения по направлениям дальнейших тематических исследований.

Литература

1. Необитаемые подводные аппараты военного назначения / сост.: М.Д. Агеев, Л.А. Наумов и др; под ред. Академика РАН М.Д. Агеева. – Владивосток.: Дальнаука, 2005. – 126 с.: ил.
2. Патент на изобретение. №2328407. Способ приема в подводную лодку автономных необитаемых подводных аппаратов и устройство для его осуществления / В.В. Сидоренков, А.В. Гетьман (RU). С1 (RU); МПКВ63G 8/00; приоритет 27.11.2006, Зарегистрир. 10.07.2008. – 30 с.: ил. // Изобретения: Оф. бил. Роспатента. – М.ФИПС, Бил.№19, от 10.07.2008.
3. Патент на изобретение. № 2372758. Самоходный имитатор ходовых шумов подводной лодки / И.Ф. Леухин, В.В. Сидоренков, А.Н. Крючков, А.В. Гетьман (RU). МПК G10K-15/00, 7/52, G 10K-15/04; приоритет 17.03.2008. Зарегистрир. 08.10.2009. РОСПАТЕНТ (ФГУ ФИПС). Исх. 024 от 13.02.2008 г. Реестр № 9 от 18.02.2008 г. РФ, – 57 с.: ил.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ОБСЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КЛАССА

В.В. Костенко, Д.Г. Ляхов, И.Г. Мокеева

Институт проблем морских технологий ДВО РАН.
690950, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (4232) 432416,
e-mail: kostenko@marine.febras.ru

В последнее время налажен выпуск множества различных моделей телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) исследовательского класса. Производители ТНПА зачастую снабжают рекламные проспекты данными о скоростях движения аппарата в идеальных условиях (без учета течений и кабеля), гораздо реже дополнительно приводятся тяговые характеристики движительно-рулевого комплекса (ДРК). Пользователя ТНПА прежде всего интересует способность аппарата обследовать определенную площадь дна на определенной глубине за определенное время и в реальных морских условиях. При этом основными показателями эффективности использования осмотровых ТНПА можно считать достижимые границы рабочей зоны и ее площадь, а также поисковую скорость движения аппарата относительно обследуемой поверхности. В докладе приводятся характеристики коммерчески доступных ТНПА осмотрового класса, определены несколько типовых моделей для сравнительного анализа их эффективности. При расчетах показателей эффективности использовались математическая модель кабеля в стационарном потоке, основанная на интегрировании уравнений нерастяжимой гибкой нити, швартовые характеристики ДРК, а также учитывалось гидродинамическое сопротивление подводного аппарата.

Введение

В сферу использования ТНПА входят осмотровые работы, спасательные операции, остропка и извлечения на поверхность крупных предметов со дна, работы по обеспечению объектов нефтегазового комплекса (поддержка бурения, осмотр трасс газопроводов, осмотр структур на наличие поломок, выполнение операций с вентилями и задвижками), операции по разминированию, научные приложения, поддержка водолазных работ, работы по поддержанию рыбных ферм, археологические изыскания, осмотра городских водных коммуникаций, осмотр судов на наличие контрабандных товаров, прикреплённых снаружи к борту и др. Основной спрос на ТНПА исследовательского класса диктовался их использованием при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений, в частности:

- на этапе планирования подводных работ – осуществление подводными аппаратами батиметрического, гидроакустического и визуального обследования участков дна, сбора образцов донного грунта;
- на этапе строительства – выполнение визуального и гидроакустического контроля хода работ, производство сложных технических работ без использования водолазов, наблюдение и контроль состояния;
- на этапе эксплуатации – визуальное и гидроакустическое обследование элементов конструкции и трубопроводов, лазерное сканирование трубопроводов на предмет утечки нефти, работа с подводными панелями управления, толщинометрия и дефектоскопия металлических изделий и т.д.

Начало активному строительству осмотровых ТНПА положили американские фирмы Hydro Products, Deep Ocean Engineering (DOE) и Hydro Vision. В период 1974-1982 г. было произведено 50 ед. модификаций аппарата «RCV» (Hydro Products). С 1985 по 1996 г. фирма DOE изготовила 300 ед. ТНПА «Phantom», а Hydro Vision – 100 аппаратов «Hyball».



RCV (Hydro Products, США)



Phantom (DOE, США)



Hyball (Hydrovision, США)

Рис. 1. Первые серийные осмотровые ТНПА

В 1998 году общее количество используемых в мире небольших осмотровых ТНПА достигло 3000 шт., что свидетельствует о своеобразном буме подводного аппаратостроения. В начале 2000-х появились ТНПА Videoray, Seabotix LBV, ГНОМ и другие, изготавливаемые в больших количествах. Согласно изданию 2009 года каталога «Дистанционно Управляемые Аппараты Мира» на тот момент существовало более 450 создателей и проектировщиков ТНПА, а также более 175 операторов подводно-технических работ с их использованием. При таком изобилии на современном рынке ТНПА чрезвычайно важно для пользователя иметь возможность обоснованного выбора аппарата, обеспечивающего максимальную эффективность выполнения осмотровых работ в реальных морских условиях.

Типовые модели осмотровых ТНПА

В результате анализа коммерчески доступных осмотровых ТНПА были определены их типовые малогабаритные модели (см. таблицу 1) и типовые модели легкого класса (см. таблицу 2). При этом были отобраны только аппараты с хорошей энерговооруженностью, у которых ДРК обеспечивает компенсацию «боковых» течений, а его суммарная тяга двигателей близка к сухому весу аппарата.

Таблица 1. Основные характеристики типовых моделей малогабаритных ТНПА (вес до 30 кг)

Название ТНПА (производитель)	Вес, кг	Габариты, мм	Тяга ДРК, кг			Кабель связи		Тип ДРК
			F_x	F_y	F_z	d , мм	q , кг/м	
LBV300-5 (SeaBotix Inc. USA)	13.0	520×445×260	7.0	3.0	3.0	8.0	0.00	2/1/1
vLBV300 (SeaBotix Inc. USA)	18.0	620×390×300	22.5	9.0	7.3	10.0	0.00	4в/2/0
Mini Rover (Teledyne Benthos Inc, USA)	20.0	660×394×292	18.1	8.2	8.2	16.5	0.00	2/1/1
Seamore (Seamor Marine Ltd., Canada)	20.0	355×472×355	8.7	8.7	5.0	10.0	0.00	2/2в/0
МАКС-300 (ИПМТ ДВО РАН)	25.0	700×500×400	18.5	20.0	7.7	10.0	0.00	4в/4/0

Примечание: F_x , F_y , F_z – продольная, вертикальная и боковая швартовая тяга ДРК, соответственно; d – диаметр кабеля связи; q – вес в воде метра кабеля связи; n_z , n_v , n_l – количество горизонтальных, вертикальных и лаговых двигателей, соответственно.

Таблица 2. Основные характеристики типовых моделей ТНПА легкого класса (вес до 100 кг)

Название ТНПА (производитель)	Вес, кг	Габариты, мм	Тяга ДРК, кг			Кабель связи		Тип ДРК $n_z/n_\theta/n_l$
			F_x	F_y	F_z	d , мм	q , кг/м	
Falcon (Saab Seaeye Ltd, England)	55.0	1000×600×500	45.0	13.0	26.0	14.0	-0.01	4В/1/0
V8 (Ocean Modules, Norway)	60.0	780×670×470	41.6	41.6	24.0	15.0	0.00	4В/4В/0
Phantom S2 (Deep Ocean Engineering, USA)	77.0	1470×840×610	34.0	13.6	13.6	14.0	0.00	2/2В/0
Mojave (Sub-Atlantic, England)	85.0	100×600×500	50.0	26.0	50.0	14.0	-0.01	4В/1/0
Галтель (ИПМТ ДВО РАН)	100.0	1225×780×725	35.0	52.0	35.0	10.0	0.00	4В/4/0

Постановка задачи

Традиционная для ТНПА схема развертывания состоит из условно неподвижного в пространстве носителя, кабеля связи с плавучестью, близкой к нейтральной и собственно аппарата А (см. рис. 2).

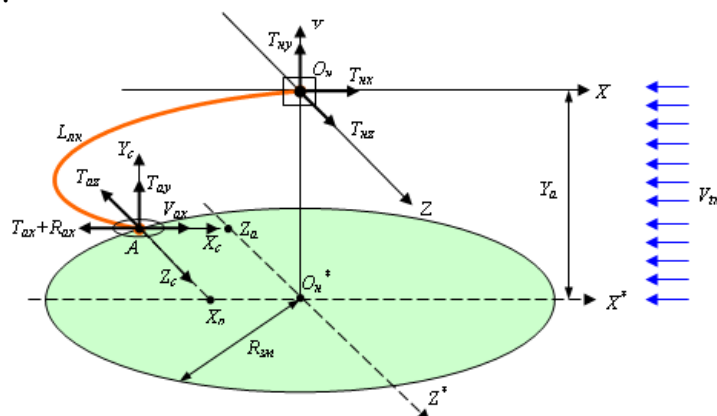


Рис. 2. Однозвенная схема развертывания ТНПА

Привязная система функционирует в условиях неравномерно набегающего потока, обусловленного стационарным течением и абсолютным движением самого аппарата относительно инспектируемой поверхности. При этом координаты ТНПА относительно неподвижного носителя будут определяться балансом действующих в системе сил:

$$F_x = T_{ax} + R_x, \quad F_y = T_{ay} + R_y + Q_a, \quad F_z = T_{az} + R_z; \quad (1)$$

где: T_{ax} , T_{ay} , T_{az} – продольная, вертикальная и боковая составляющие реакции ходового конца кабеля связи, соответственно; Q_a – остаточная плавучесть ТНПА; R_x , R_y , R_z – продольная, вертикальная и боковая составляющие силы гидродинамического сопротивления корпуса аппарата, соответственно. Очевидно, что ТНПА, отличающиеся водоизмещением, тяговыми характеристиками ДРК и параметрами кабеля связи не могут иметь одинаковые показатели эффективности

$$S_x = \pi \cdot R_{zx}^2 (V_t, F_x, F_y, F_z), \quad V_{ax} = f(V_t, F_x); \quad (2)$$

$$S_z = \pi \cdot R_{zx}^2 (V_t, F_x, F_y, F_z), \quad V_{az} = f(V_t, F_z); \quad (3)$$

где: S_x, S_z – площадь гарантированной зоны маневрирования ТНПА при лобовой и боковой ориентации к течению, соответственно; R_{zx}, R_{zy} – гарантированный радиус зоны маневрирования при лобовой и боковой ориентации аппарата к течению, соответственно; V_{ax}, V_{az} – максимальная поисковая скорость аппарата при встречном и боковом течении, соответственно.

Расчет реакции ходового конца кабеля связи

В соответствии с [1,2] уравнение однозвенной привязной системы в установившемся неравномерном потоке с учетом абсолютной скорости движения аппарата имеет вид:

$$\frac{d\vec{f}}{dl} = \vec{b}, \quad \vec{f} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta & x & y & z & V_x & V_y & V_z \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} -q \cdot \sin \alpha - R_\tau & -\frac{q \cdot \cos \alpha - R_{n\alpha}}{T} & -\frac{R_{n\beta}}{T \cdot \cos \alpha} & \cos \alpha \cdot \sin \beta & \sin \beta & \cos \alpha \cdot \cos \beta & -\frac{V_{ax}}{L} & -\frac{V_{ay}}{L} & -\frac{V_{az}}{L} \end{bmatrix}^T \cdot (4)$$

В этих уравнениях: T – сила натяжения в текущей точке кабеля; α, β – углы ориентации касательной к линии кабеля в этой точке; x, y, z – координаты текущей точки кабеля; V_x, V_y, V_z – скорости текущей точки кабеля; q – вес в воде 1 м кабеля; $R_\tau, R_{n\alpha}, R_{n\beta}$ – касательная и нормальные составляющие силы гидродинамического давления, действующей на единицу длины кабеля.

$$R_\tau = C_\tau |V_\tau| V_\tau, \quad R_{n\alpha} = C_n V_n V_{n\alpha}, \quad R_{n\beta} = C_n V_n V_{n\beta};$$

где $C_\tau = k_\tau \cdot \rho \cdot d / 2$; $C_n = k_n \cdot \rho \cdot d / 2$; k_n, k_τ – нормальный и касательный коэффициенты гидродинамического сопротивления кабеля; d – диаметр кабеля; ρ – плотность воды; $V_\tau, V_n, V_{n\alpha}, V_{n\beta}$ – касательная и нормальные составляющие скорости текущей точки:

$$\begin{aligned} V_\tau &= V_x \cos \alpha \sin \beta + V_y \sin \alpha + V_z \cos \alpha \cos \beta, \\ V_{n\beta} &= -V_z \sin \beta + V_x \cos \beta, \quad V_{\tau\beta} = V_z \cos \beta + V_x \sin \beta, \\ V_{n\alpha} &= V_y \cos \alpha - V_{\tau\beta} \sin \alpha, \quad V_n = \sqrt{V_{n\alpha}^2 + V_{n\beta}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

В процессе итерационного поиска решения программой выполняется численное интегрирование уравнений (4) по длине, и определяется натяжение кабеля как со стороны аппарата (T_{ax}, T_{ay}, T_{az}), так и со стороны носителя (T_{hx}, T_{hy}, T_{hz}).

Расчет гидродинамического сопротивления аппарата

С учетом суммирования набегающих потоков и предположения о необходимости компенсации лагового (действующего вдоль оси $O_n^* Z^*$) течения V_{mz} гидродинамическое сопротивление ТНПА можно вычислить по известным формулам [3]:

$$R_x = C_x \cdot \frac{\rho \cdot (V_{ax} + V_{mx})^2}{2} \cdot U^{2/3}, \quad R_y = C_y \cdot \frac{\rho \cdot V_{ay}^2}{2} \cdot U^{2/3}, \quad R_z = C_z \cdot \frac{\rho \cdot (V_{az} + V_{mz})^2}{2} \cdot U^{2/3}; \quad (6)$$

где C_x, C_y, C_z – коэффициенты сопротивления продольному, боковому и вертикальному движению ТНПА, соответственно; $V_{tx} = V_{tz}$ – скорость встречного течения; U – водоизмещение аппарата.

Методика расчета показателей эффективности обследовательских ТНПА

Разработанный на основании уравнений (1), (4), (6) алгоритм расчета равновесия кабеля в неравномерном потоке был реализован в пакете Matlab прикладной программой ZONA [2]. На рисунке 3 приведен пример расчета натяжения ходового конца кабеля на границах круговой зоны маневрирования, анализ которого показывает, что зависимость натяжения кабеля от угловой координаты аппарата в круговой зоне маневрирования имеет выраженные экстремумы в точках с координатами аппарата $X_a=0, Z_{amax}=\pm R_{zm}$.

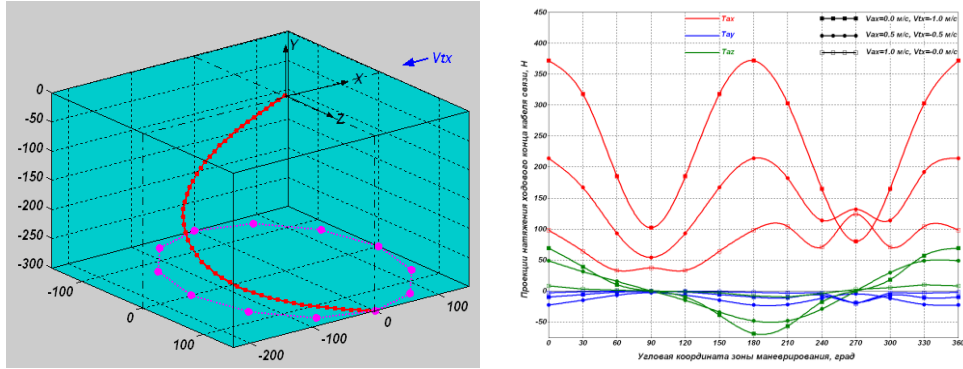


Рис. 3. Пример расчета натяжения кабеля связи для однозвенной схемы на границе зоны маневрирования

Это позволяет сделать вывод о том, что гарантированной зоной маневрирования ТНПА можно считать окружность радиусом $R_{zm}=Z_{amax}$, который будет зависеть от ориентации продольной оси аппарата к встречному течению. При встречном течении радиус этой зоны $R_{zx}=Z_{amax}$ будет определяться соотношениями

$$F_x = T_{ax}(V_t) + R_x(V_t), F_y \geq T_{ay}(V_t) + Q_a, F_z \geq T_{az}(V_t),$$

а при ориентации аппарата лагом к течению радиус зоны станет $R_{zy}=Z_{amax}$ и изменится в соответствии с балансом сил

$$F_z = T_{az}(V_t), F_y \geq T_{ay}(V_t) + Q_a, F_x \geq T_{ax}(V_t).$$

Для расчета параметров зоны маневрирования были приняты исходные данные из таблицы 3.

Таблица 3. Общие исходные данные для расчета параметров зоны маневрирования

L , м	k_n	k_r	Y_a , м	V_{ax} , м/с	Q_a , Н	$C_x=C_z$	ρ , $кг/м^3$
100	1.80	0.025	-50	0	10	1.0	1025

При этом тяговые характеристики аппарата (F_x , F_y , F_z), его сухой вес и параметры кабеля (d , q) связи брались из таблиц 1, 2. Водоизмещение аппаратов определялось по формуле [3]

$$U = \frac{G_a + Q_a}{\rho},$$

где: G_a – сухой вес аппарата, ρ – массовая плотность морской воды.

Для оценки реальной производительности проведения подводно-технических работ необходимо знать максимальную скорость движения аппарата относительно грунта в пределах зоны маневрирования и в условиях стационарного течения. В дальнейшем будем называть эту скорость движения ТНПА поисковой. Упомянутая выше программа ZONA [2] позволяет рассчитать равновесие кабеля в неравномерном потоке, образованном течением и поисковой скоростью движения аппарата. При этом расчет ведется в точке зоны с координатами $X_a=0$, $Y_a=50$ м, $Z_a=0$. Итерационный поисковый алгоритм позволяет для заданной скорости течения V_t определить максимальные достижимые поисковые скорости аппарата, обеспечивающие равновесие привязной системы в точке аппарата под носителем при условиях:

$$F_x = T_{ax}(V_t + V_{ax}) + R_x(V_t + V_{ax}), F_y \geq T_{ay}(V_t + V_{ax}) + Q_a, F_z \geq T_{az}(V_t + V_{ax});$$

$$F_z = T_{az}(V_t + V_{az}) + R_z(V_t + V_{az}), F_y \geq T_{ay}(V_t + V_{az}) + Q_a, F_x \geq T_{ax}(V_t + V_{ax}).$$

Результаты расчета показателей эффективности обследовательских ТНПА

Результаты проведенных расчетов показателей эффективности ТНПА сведены в таблицы 4, 5 и иллюстрируются графиками рис. 4-7.

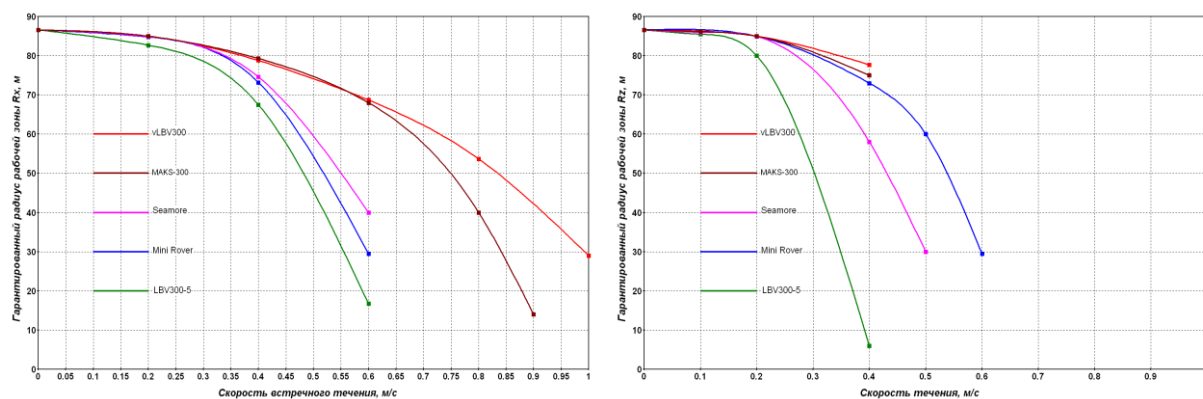


Рис. 4. Зависимость гарантированных радиусов R_x и R_z рабочих зон типовых моделей малогабаритных ТНПА от скорости течения

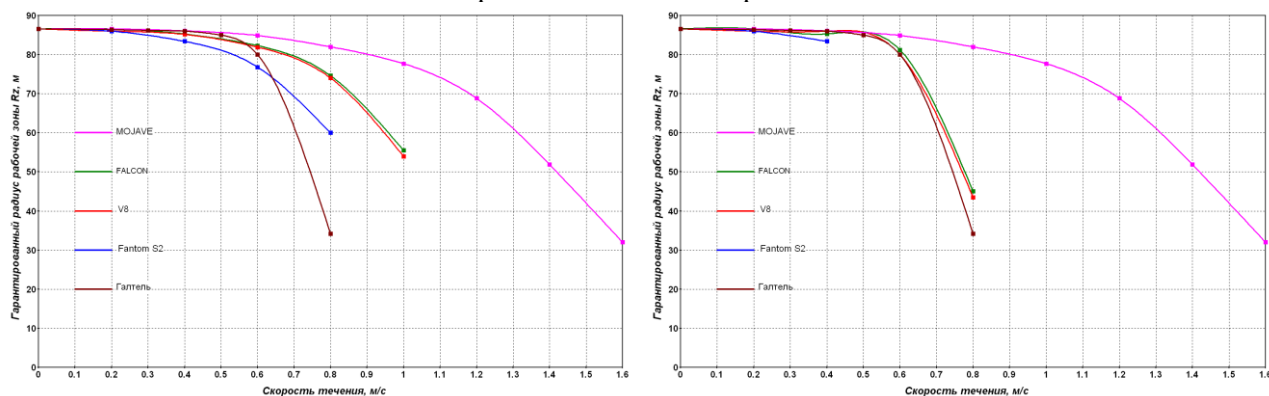


Рис. 5. Зависимость гарантированных радиусов R_x и R_z рабочих зон типовых моделей ТНПА легкого класса от скорости течения

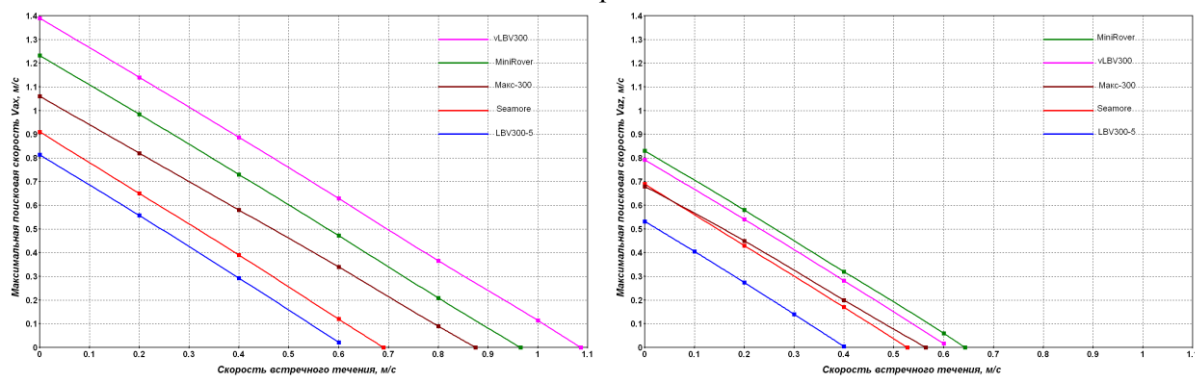


Рис. 6. Зависимость максимальной поисковой скорости типовых моделей малогабаритных ТНПА от скорости течения

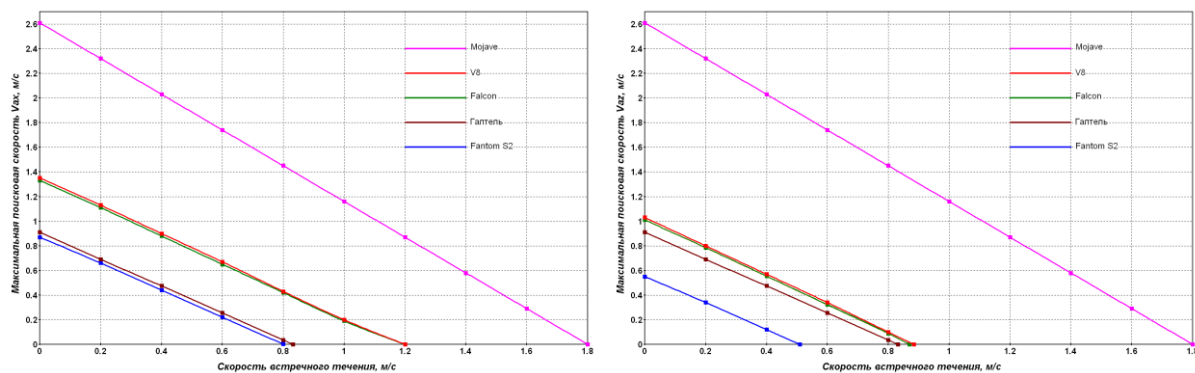


Рис. 7. Зависимость максимальной поисковой скорости типовых моделей ТНПА легкого класса от скорости течения

Таблица 4. Показатели эффективности типовых моделей малогабаритных ТНПА

Модель ТНПА	V_t , м/с	Достижимый радиус рабочей зоны		Поисковая скорость	
		R_x , м	R_z , м	V_{ax} , м/с	V_{az} , м/с
LBV300-5 (SeaBotix Inc. USA)	0.00	86.6	86.6	0.81	0.53
	0.25	81.4	68.5	0.49	0.21
	0.50	45.5	-	0.16	-
vLBV300 (SeaBotix Inc. USA)	0.00	86.6	86.6	1.39	0.79
	0.25	84.1	84.0	1.08	0.48
	0.50	74.8	71.8	0.76	0.15
Mini Rover (Teledyne Benthos Inc, USA)	0.00	86.6	86.6	1.23	0.83
	0.25	84.1	84.0	0.92	0.52
	0.50	54.4	60.0	0.60	0.19
Seamore (Seamor Marine Ltd., Canada)	0.00	86.6	86.6	0.91	0.69
	0.25	84.1	82.0	0.58	0.37
	0.50	59.6	30.1	0.25	0.04
МАКС-300 (ИПМТ ДВО РАН)	0.00	86.6	86.6	1.06	0.69
	0.25	84.1	84.0	0.76	0.39
	0.50	74.8	64.9	0.46	0.08

Таблица 5. Показатели эффективности типовых моделей ТНПА легкого класса

Модель ТНПА	V_t , м/с	Достижимый радиус рабочей зоны		Поисковая скорость	
		R_x , м	R_z , м	V_{ax} , м/с	V_{az} , м/с
Falcon (Saab Seaeye Ltd, England)	0.00	86.6	86.6	1.33	1.00
	0.25	85.9	86.0	1.06	0.73
	0.50	84.0	84.6	0.77	0.44
V8 (Ocean Modules, Norway)	0.00	86.6	86.6	1.35	1.03
	0.25	86.0	85.8	1.08	0.75
	0.50	85.6	84.0	0.79	0.46
Phantom S2 (Deep Ocean Engineering, USA)	0.00	86.6	86.6	0.88	0.55
	0.25	85.9	85.6	0.61	0.29
	0.50	81.4	81.4	0.33	0.02
Mojave (Sub-Atlantic, England)	0.00	86.6	86.6	2.61	2.62
	0.25	86.0	85.9	2.25	2.25
	0.50	85.6	85.8	1.89	1.89
Галтель (ИПМТ ДВО РАН)	0.00	86.6	86.6	0.92	0.92
	0.25	86.0	85.9	0.64	0.64
	0.50	85.6	85.1	0.37	0.37

Выводы

1. Для оценки эффективности применения осмотровых ТНПА предложено использовать достижимые радиусы рабочей зоны на заданной глубине с продольной и поперечной ориентацией аппарата к течению.
2. Объективно оценить производительность осмотровых работ можно по максимальной поисковой скорости движения аппарата относительно грунта в рабочей зоне.
3. Эффективность использования ТНПА в первую очередь определяется его энерговооруженностью и вытекающими из нее тяговыми характеристиками ДРК, а также параметрами кабеля связи и водоизмещением аппарата.
4. Знание показателей эффективности позволит пользователю подобрать модель ТНПА, наилучшим образом обеспечивающую выполнение подводно-технических работ в реальных морских условиях.
5. По совокупности показателей эффективности среди представленных типовых моделей малогабаритных ТНПА лучшим является «vLVB300» SeaBotix Inc., а среди типовых моделей ТНПА легкого класса – «Mojave» Sub-Atlantic.

Литература

1. Виноградов Н.И. и др. Привязные подводные системы. Прикладные задачи статики и динамики. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2000.
2. Костенко В.В., Мокеева И.Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2009, №1 (7). С. 22-27.
3. Пантов Е.Н. и др. Основы теории движения подводных аппаратов / Е.Н. Пантов, Н.Н. Махин, Б.Б. Шереметов. – Л.: Судостроение, 1973.

ОПЫТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРЕБНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

В.В. Костенко, Д.Н. Михайлов, Н.А. Найдено, Д.Н. Родькин

Институт проблем морских технологий ДВО РАН.
690950, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (423) 243-24-16,
e-mail: kostenko@marine.febras.ru

В докладе рассмотрены вопросы экспериментальных исследований гребного электропривода (ГЭП) необитаемых подводных аппаратов (НПА) разработки ИПМТ. Представлен лабораторный стенд, позволяющий проводить как нагрузочные испытания электропривода, так и швартовые испытания движителей НПА. Приведены результаты нагрузочных испытаний гребного электропривода на базе отечественных электродвигателей большого момента серии ДБМ. Описана методика определения требуемых параметров гребного винта, согласованного с приводом, а также представлены некоторые результаты швартовых испытаний движителей НПА разработки ИПМТ ДВО РАН.

На этапе технического проектирования НПА в соответствии с техническим заданием сначала определяются требуемые тяговые характеристики всего ДРК и составляющих его движителей. После этого встает задача выбора гребного винта и его привода, решение которой позволяет сформулировать требования к системе энергообеспечения (СЭО) аппарата. Успешное решение поставленной задачи невозможно без экспериментальных исследований ГЭП.

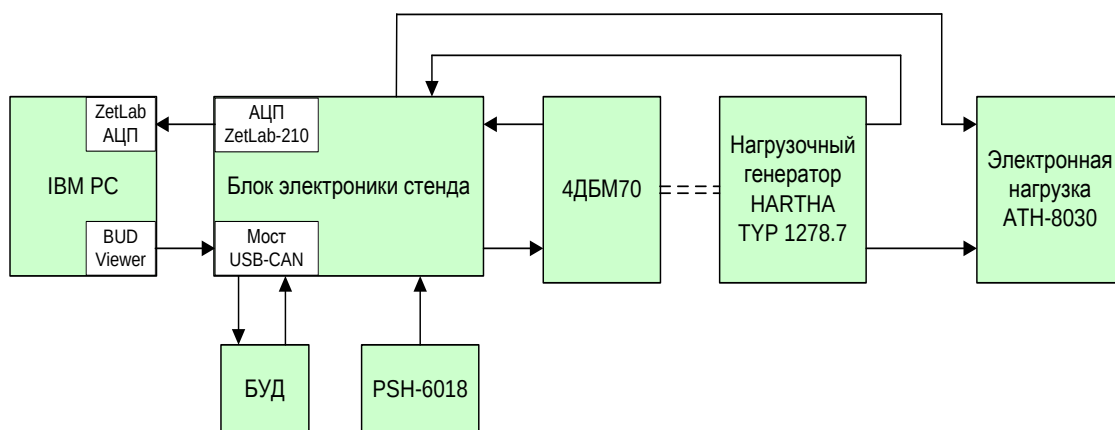
Нагрузочные испытания гребного электропривода

Целью нагрузочных испытаний ГЭП является определение его характеристик, необходимых для выбора параметров как гребного винта, так и системы энергообеспечения НПА. К основным характеристикам ГЭП относятся: механическая характеристика, внешняя характеристика (зависимость мощности на валу от частоты вращения), а также зависимость потребляемой мощности от частоты вращения. Функциональная схема нагрузочного стенда и его фотография приведены на рисунках 1, а и 1, б, соответственно.

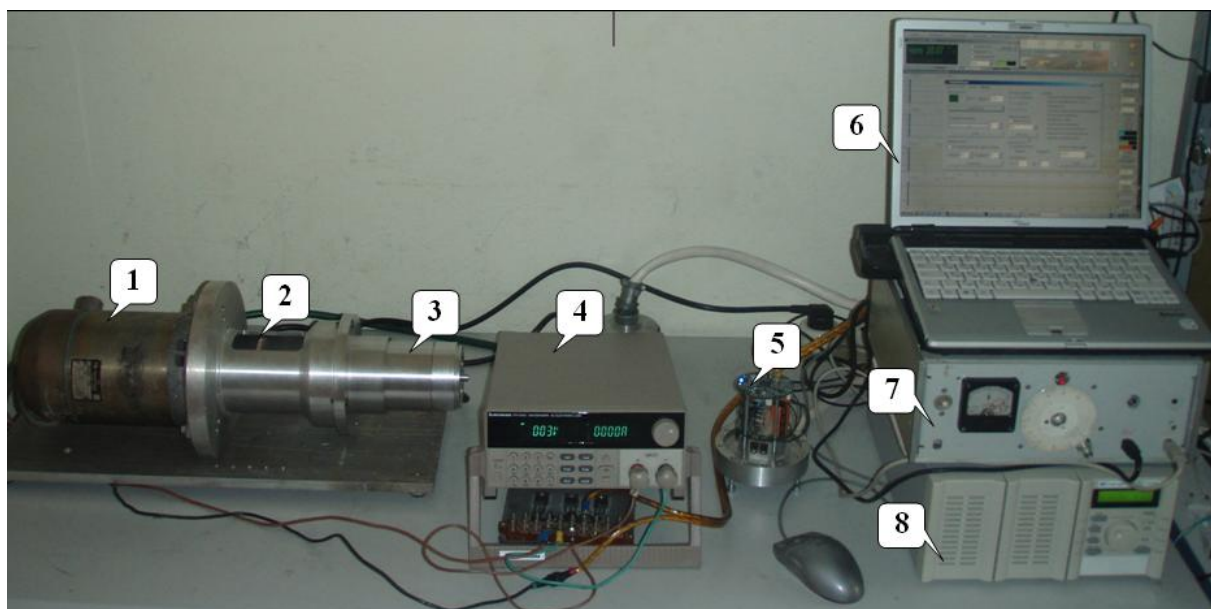
В результате нагрузочных испытаний ГЭП были получены его механическая (см. рис.3) и внешняя (см. рис. 4) характеристики.

Методика выбора гребного винта, согласованного с ГЭП

Согласованным с ГЭП можно считать такой гребной винт (ГВ), который при движении НПА со скоростью V_x на номинальной частоте вращения привода $n_{эн}$ отбирает от него номинальную механическую мощность $N_{эн}$. Согласование ГВ с приводом заключается в итерационном поиске его параметров, обеспечивающих для известных V_x и $n_{эн}$ равенство $N_{св}=N_{эн}$. Момент, который должен обеспечить привод при заданных оборотах, а также создаваемая движителем тяга и его КПД вычислялись следующим образом.



а)



б)

Рис. 1. Стенд для нагрузочных испытаний ГЭП: 1 – нагрузочный генератор HARTHA ТУР 1278.7; 2 – согласующая муфта; 3 – вентильный электродвигатель 4ДБМ70-1,1-1,3-3/24 в герметичном контейнере; 4 – электронная нагрузка генератора АТН 8030; 5 – блок управления двигателем; 6 – управляющий компьютер; 7 – блок электроники стенда; 8 – блок питания PSH 6018

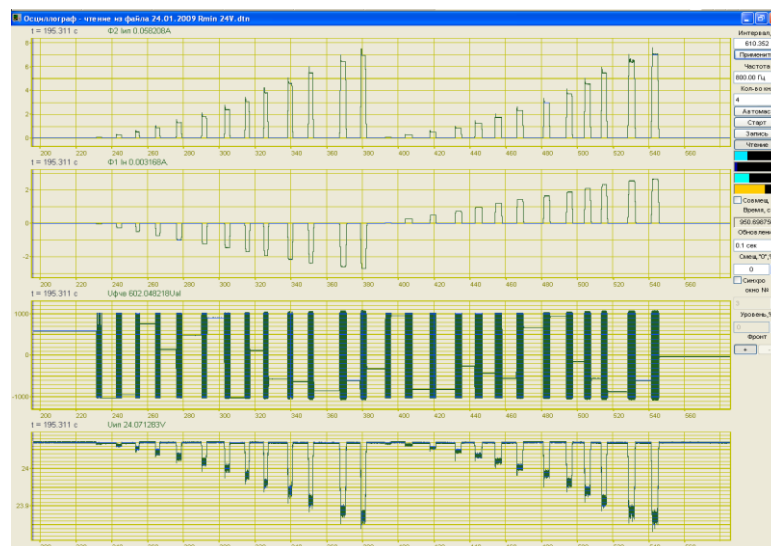


Рис. 2. Скриншот осциллограммы нагрузочных испытаний ГЭП на базе 4ДБМ70-1,1-1,3-3

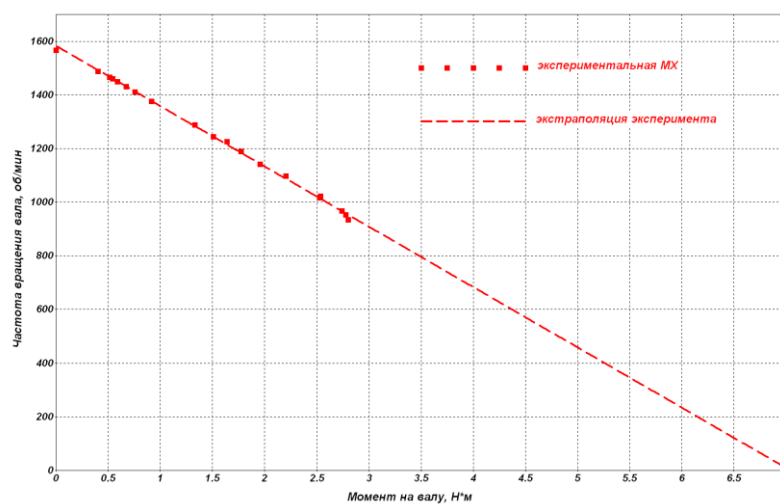


Рис. 3. Механическая характеристика ГЭП на базе 4ДБМ70-1.1-1.3-3

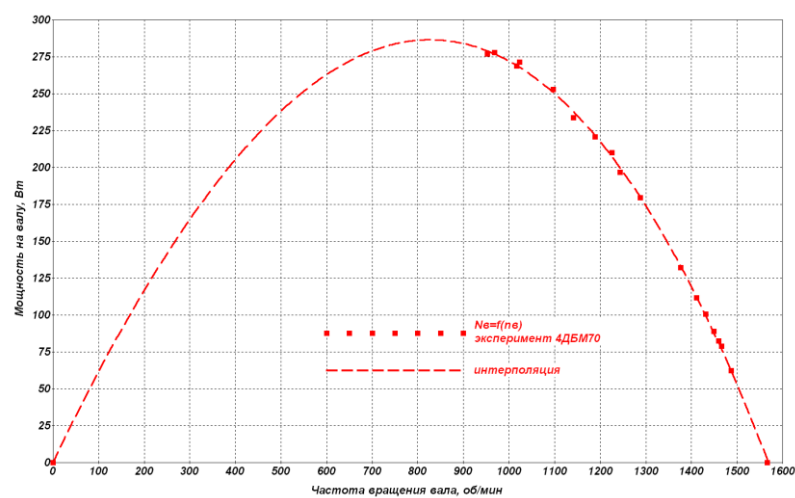


Рис. 4. Внешняя характеристика ГЭП на базе 4ДБМ70-1.1-1.3-3

Сначала для выбранного сочетания параметров гребного винта (диаметр D , шаговое отношение $\xi=H/D$, число лопастей Z , дисковое отношение $v=A/A_d$, номер серии n_{ser}) прикладной программой PSOP в соответствии с методикой Дайдола-Джонсона [1] рассчитываются коэффициенты упора K_t и момента K_M гребного винта по формулам:

$$K_t = \sum_i C_{ti} \cdot \lambda^{S_{1i}} \cdot \xi^{T_{1i}} \cdot v^{U_{1i}} \cdot z^{V_{1i}},$$

$$K_M = \sum_j C_{mj} \cdot \lambda^{S_{2j}} \cdot \xi^{T_{2j}} \cdot v^{U_{2j}} \cdot z^{V_{2j}}, \quad \lambda = \frac{V_x}{n_g \cdot D}; \quad (1)$$

где: λ относительная поступь ГВ; $C_{1i}, S_{1i}, T_{1i}, U_{1i}, V_{1i}, C_{2j}, S_{2j}, T_{2j}, U_{2j}, V_{2j}$ полиномиальные коэффициенты регрессионной базы данных для принятой серии винтов.

Затем, задавшись частотой вращения ГВ $n_g=n_{эп}$ и скоростью движения НПА V_x , вычисляем момент сопротивления M_{zg} , упор T_∂ , требуемую мощность на валу N_{zg} и КПД по классическим формулам [2].

$$T_\partial = K_t(\lambda) \cdot \rho \cdot n_g^2 \cdot D^4,$$

$$M_{zg} = K_M(\lambda) \cdot \rho \cdot n_g^2 \cdot D^5, \quad (2)$$

$$N_{zg} = n_g \cdot M_{zg}, \quad \eta_{zg} = T_\partial \cdot V_x / N_{zg}.$$

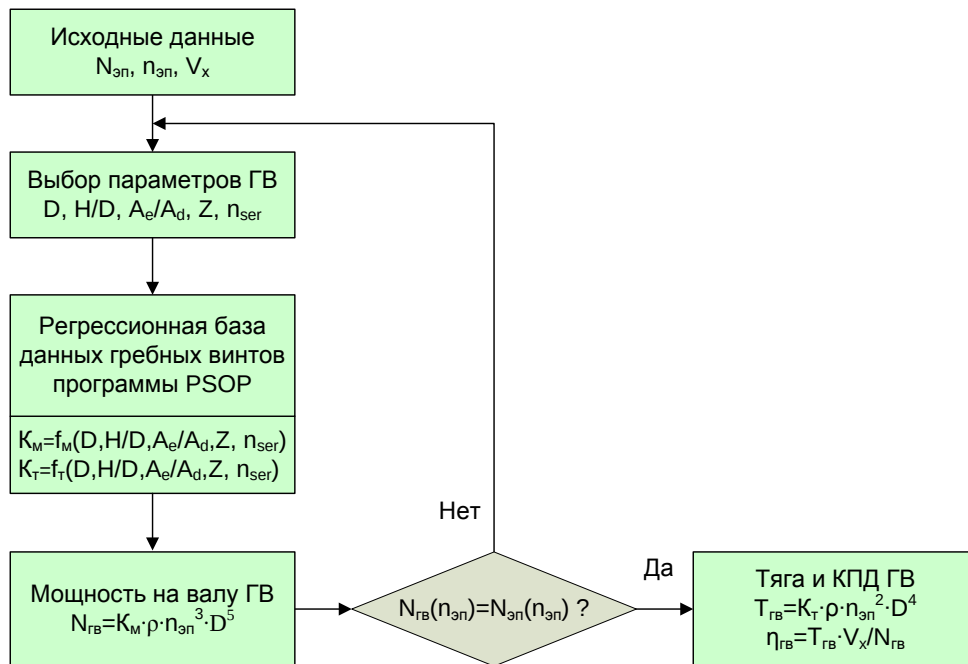


Рис. 5. Блок-схема алгоритма итерационного поиска параметров согласованного ГВ

Бассейновые испытания движителя

В соответствии с найденными выше параметрами был изготовлен макет согласованного ГВ, работоспособность которого необходимо подтвердить экспериментально. Цель бассейновых испытаний движителя (комплекса ГЭП-ГВ) заключалась в определении следующих его характеристик:

- зависимость швартовой тяги от управляющего кода ГЭП;
- зависимость швартовой тяги от частоты вращения вала;
- зависимость потребляемой мощности движителя от частоты его вращения;
- зависимость момента сопротивления гребного винта от частоты его вращения.

Ниже приведена функциональная схема испытательного стенда и фотография тензометрической балки с макетом движителя ТНПА. Экспериментальные швартовые характеристики макета движителя ТНПА «Галтель» показаны на рисунках 9-12.

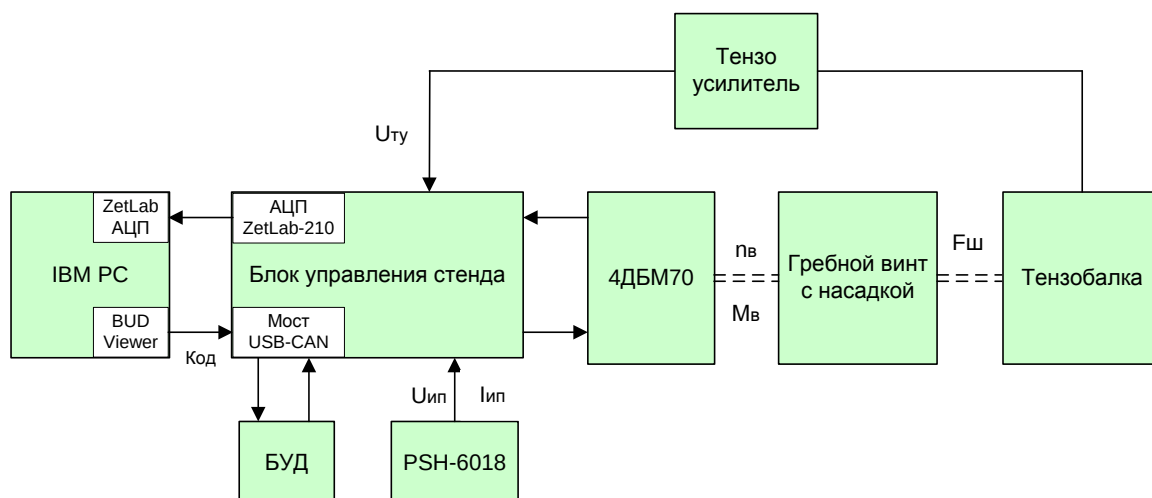


Рис. 6. Функциональная схема стенда для определения швартовых характеристик движителя

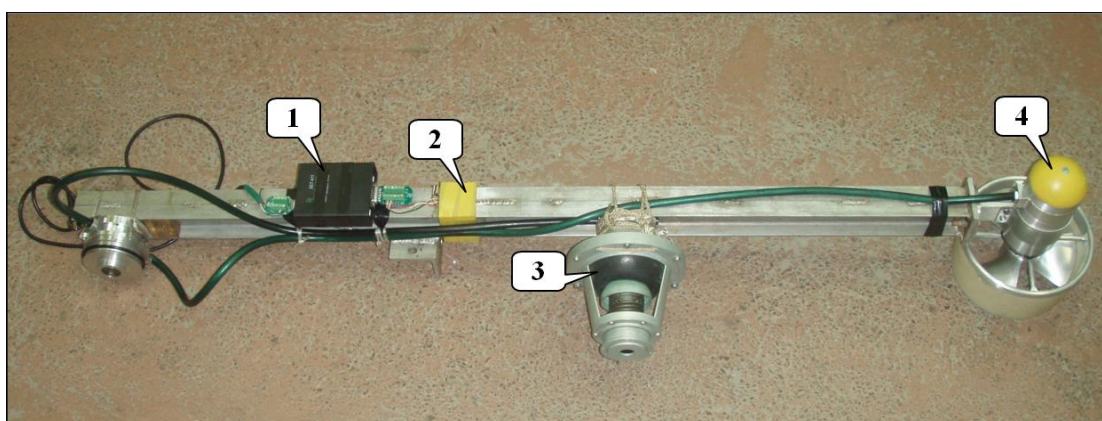


Рис. 7. Макет движителя НПА на измерительной балке: 1 – тензометрический усилитель ZET-411, 2 – тензорезисторы, 3 – компенсатор давления, 4 – макет движителя НПА

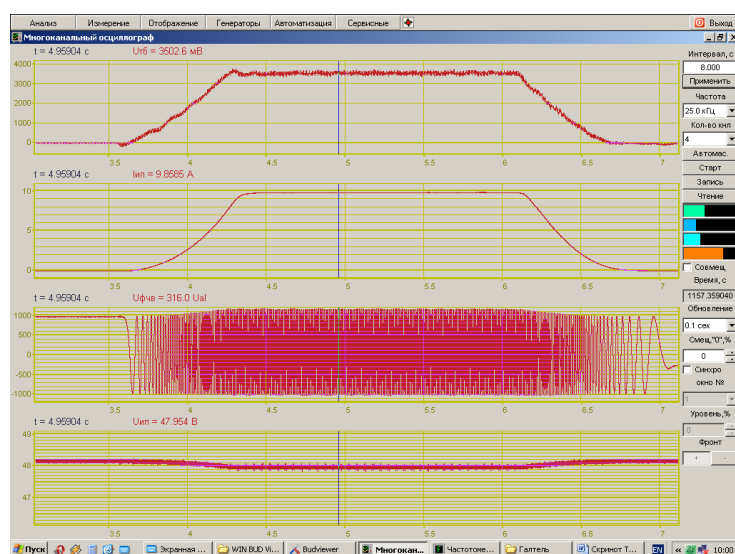


Рис. 8. Интерфейс программы регистрации параметров движителя «ZETPanel»

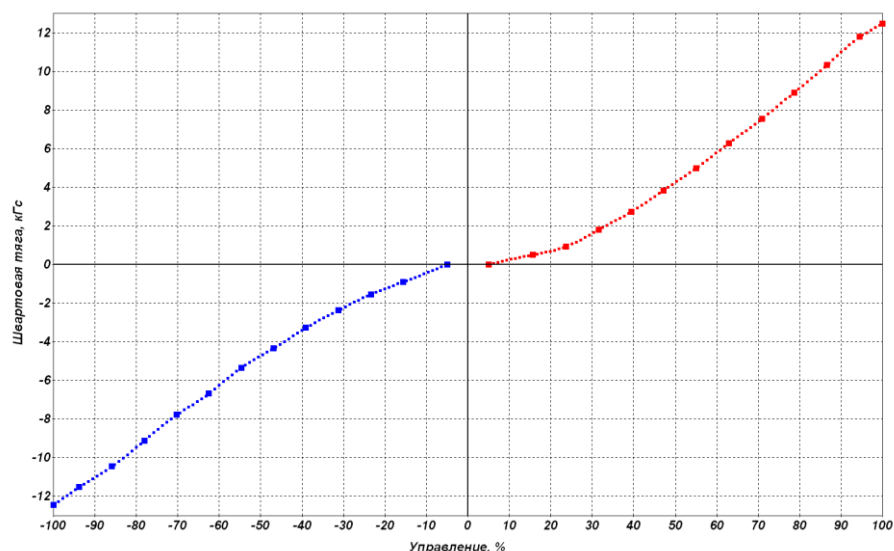


Рис. 9. Зависимость швартовой тяги от уровня управления (статическая характеристика движителя ТНПА)

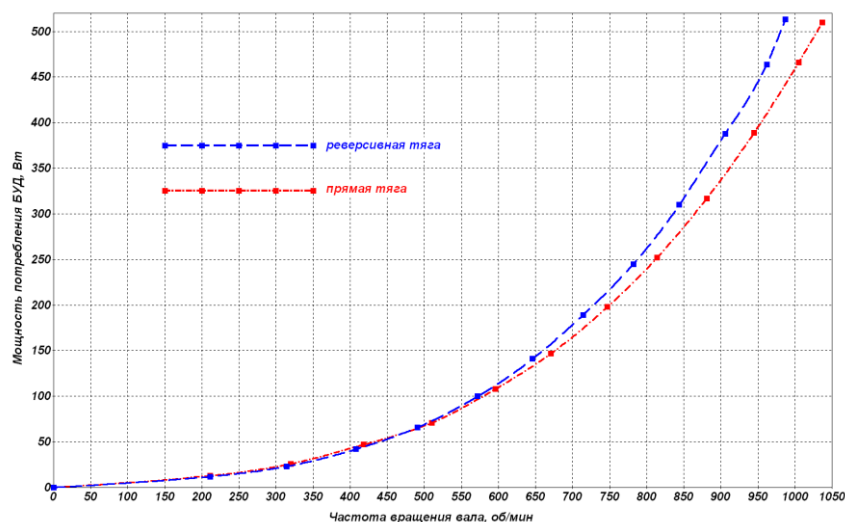


Рис. 10. Зависимости мощности потребления ГЭП от частоты его вращения движителя

Выводы

- Разработанный в ИПМТ нагрузочный стенд позволяет определять основные характеристики ГЭП, необходимые для выбора параметров как гребного винта, так и системы энергообеспечения НПА.
- Предложена методика выбора параметров ГВ, обеспечивающего полную загрузку привода в номинальном режиме. Расчет характеристик ГВ основан на использовании регрессионной базы гребных винтов программы PSOP (Daidola&Jonson).
- Бассейновые испытания движителя дают возможность получить его швартовые характеристики, необходимые для разработки алгоритмов управления движением аппарата, проверить правильность принятых при его проектировании технических решений, а также определить требования к СЭО НПА.

Литература

1. Daidola J.C, Johnson F.M (1992) Propeller Selection and Optimization Program. Manual for the Society of Naval Architects and Marine.
2. Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля. Л.: Судостроение, 1973.
3. Горнак В.Е., Костенко В.В., Кушнерик А.А. Оптимизация характеристик движителей подводного аппарата // Материалы научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 2-5 октября 2007 г. С.130-134.

МАКС-300 – МАЛОГАБАРИТНЫЙ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ РАЗРАБОТКИ ИПМТ ДВО РАН

**А.Ю. Быканова, В.В. Костенко, А.А. Кушнерик, Н.А. Найденко, Д.Н. Михайлов,
Д.Н. Родькин**

Институт проблем морских технологий ДВО РАН.
690950, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (4232) 432416,
e-mail: kostenko@marine.febras.ru

В докладе представлена структура малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата (МТПА), охарактеризованы его основные системы. Разработанная конструкция предусматривает возможность оперативного перевооружения МТПА с целью увеличения его многофункциональности. Приведены результаты лабораторных, бассейновых и натурных испытаний аппарата и его систем. Дается анализ основных технических проблем, возникших при проектировании и испытании систем аппарата.

Введение

Малогабаритный ТПА «МАКС-300» был разработан ИПМТ в 2011 г. по техническому заданию Морского государственного университета им. Г.И. Невельского. Аппарат предназначен как непосредственно для инспектирования гидротехнических сооружений, бездокового освидетельствования корпусов судов и обеспечения аварийно-спасательной готовности на глубинах до 300 м, так и для учебно-методических задач с целью подготовки эксплуатирующего персонала в системе российского морского образования.

Состав робототехнического комплекса

Подводный робототехнический комплекс состоит из МТПА, надводного пульта управления (НПУ) и кабеля связи. Функциональная схема комплекса приведена на рис.1, где устройства, поставляемые опционально обозначены пунктиром. В базовый состав МТПА входят блок энергетики (БЭ), система бортового управления и навигации (СБУН), движительно-рулевой комплекс (ДРК) и информационно-измерительный комплекс (ИИК). Основные характеристики аппарата сведены в таблицу 1. Внешний вид МТПА иллюстрирует рис. 2.

В состав оборудования судна-носителя входят ЭВМ типа ноутбук с TV-Тюнером, джойстик управления МТПА, дополнительные видеомониторы с видео регистратором и НПУ, состоящий из программируемого источника питания GEN600-4, устройства защитного отключения, контроллера изоляции кабеля связи и оптомодема, обеспечивающего прием двух видеопотоков и связь с аппаратом по интерфейсу E-net.

Таблица 1. Тактико-технические характеристики комплекса МТПА «МАКС-300»

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

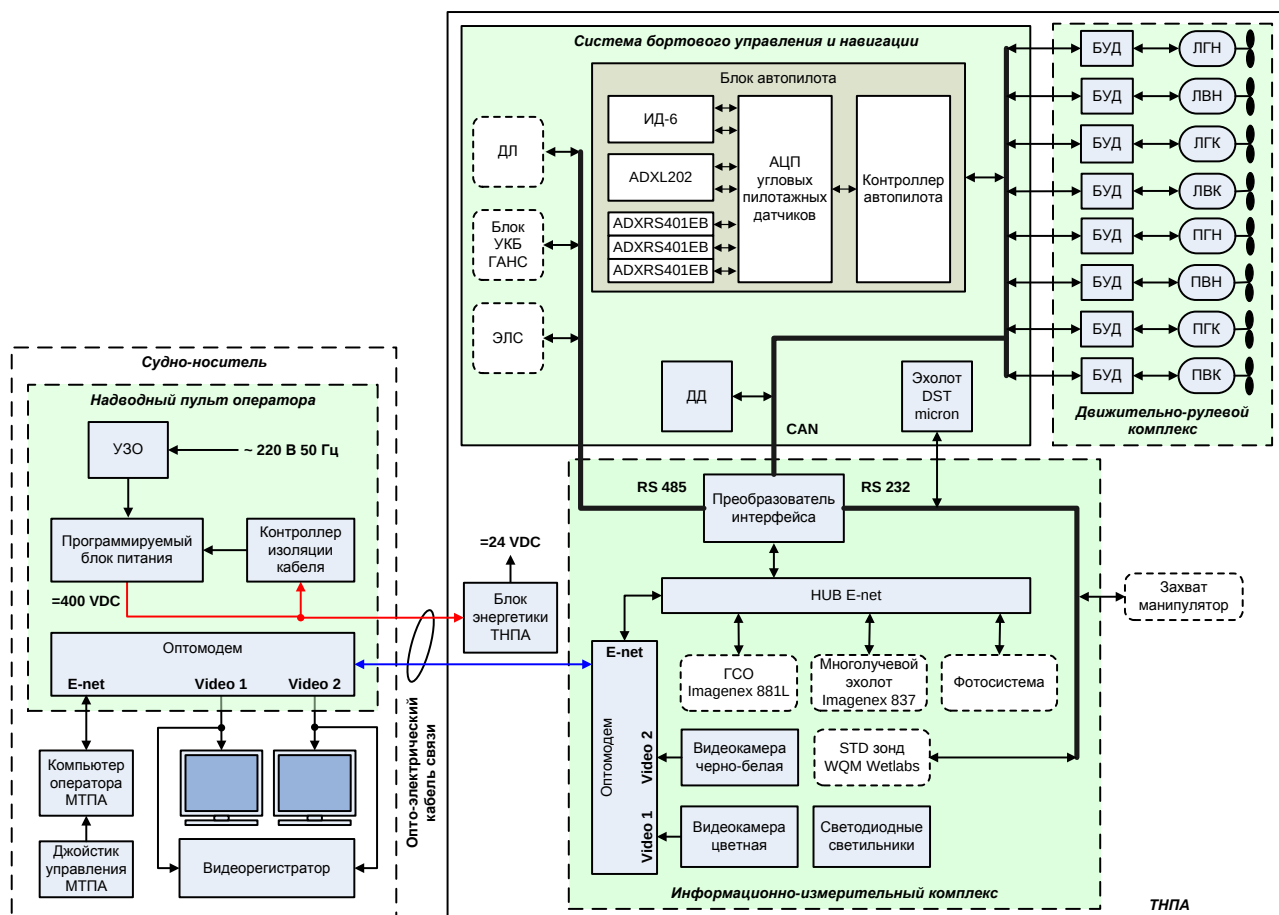


Рис. 1. Функциональная схема подводно-технического комплекса «Макс-300»

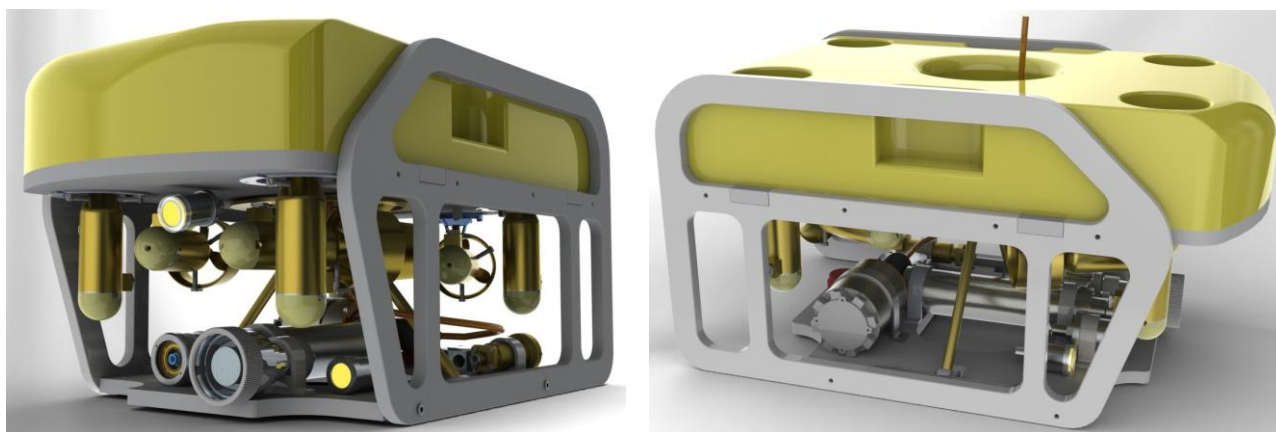


Рис. 2. 3D модель МТПА «Макс-300»

Конструкция МТПА

Корпусная система МТПА состоит из несущей рамы, герметичных контейнеров для размещения электронного оборудования, блока плавучести и системы заборного монтажа. Для минимизации массогабаритов аппарата в качестве материала несущей рамы использован полипропиленовый лист с плотностью материала 900 кг/м^3 . Форма рамы обеспечивает рациональное размещение всех элементов и систем МТПА при его минимальных габаритах, а также возможность установки быстросъемного модуля с дополнительным оборудованием. На раме 1 закреплены гребные электродвигатели движительно-рулевого комплекса (ДРК) 2, прочный контейнер блока автопилота 3 и блоки управления движителями 4, черно-белая 5 и

цветная 6 видеокамеры, светильники 7, распределительные коробки 8, блок энергетики 9, блок оптомодема 10, датчик давления 11, эхолот 12, компенсатор давления 13 и блок плавучести 14 (см. рис. 3, б).

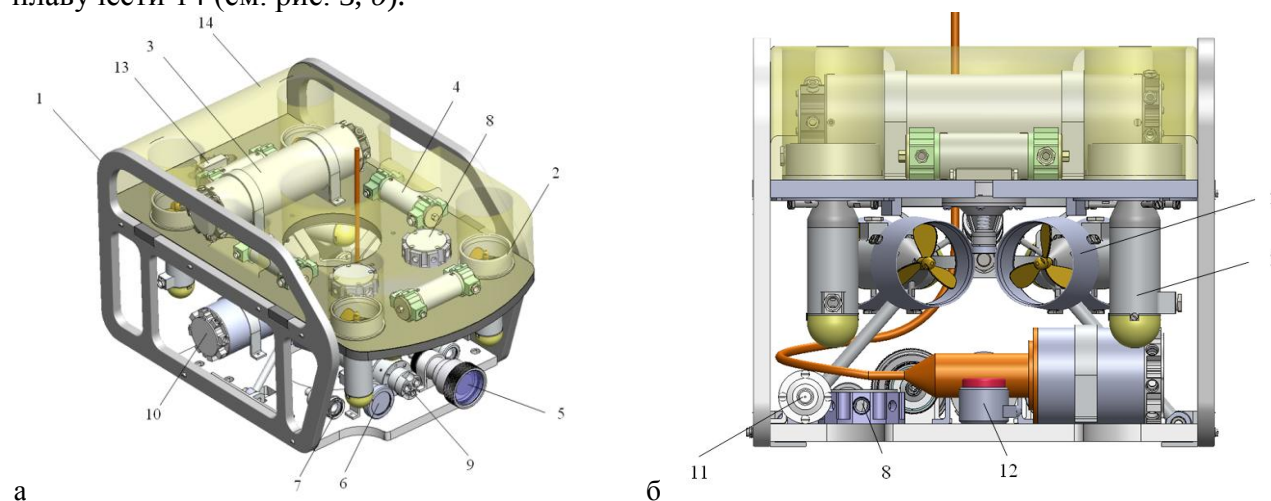


Рис. 3. Базовый состав оборудования МТПА «Макс-300»

Движительно-рулевой комплекс

Выбранная компоновка движительно-рулевого комплекса обеспечивает управляемость аппарата по шести координатам – ход, лаг, глубина, курс, крен и дифферент (см. рис. 4).

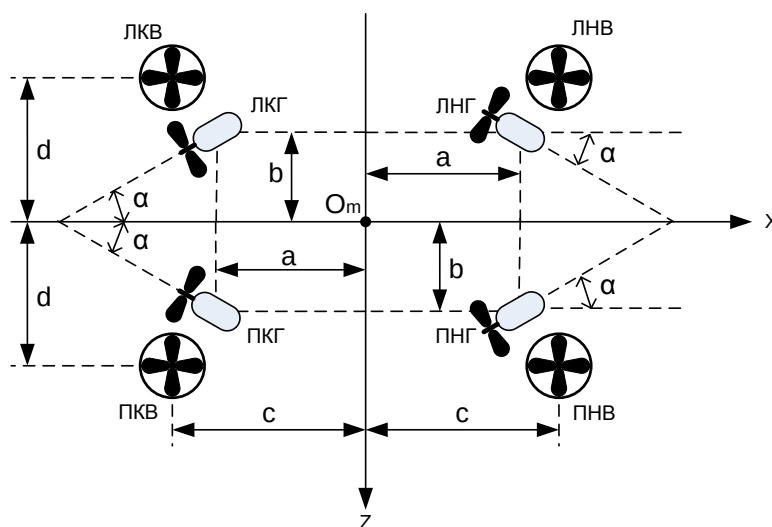


Рис. 4. Компоновка ДРК ТНПА «МАКС-300»

Связь управляющих воздействий с упорами двигателей соответствует выражению [1]

$$\begin{aligned}
 F_x &= (F_{\text{ЛКГ}} + F_{\text{ПКГ}} + F_{\text{ЛНГ}} + F_{\text{ПНГ}}) \cdot \cos \alpha, \\
 F_y &= F_{\text{ЛКВ}} + F_{\text{ПКВ}} + F_{\text{ЛНВ}} + F_{\text{ПНВ}}, \\
 F_z &= (F_{\text{ПК}} - F_{\text{ЛК}}) \cdot \sin \alpha + (F_{\text{ЛН}} - F_{\text{ПН}}) \cdot \sin \alpha, \\
 M_x &= (F_{\text{ЛНВ}} + F_{\text{ЛКВ}}) \cdot d - (F_{\text{ПНВ}} + F_{\text{ПКВ}}) \cdot d, \\
 M_y &= (F_{\text{ПКГ}} - F_{\text{ЛКГ}}) \cdot L_\varphi + (F_{\text{ПНГ}} - F_{\text{ЛНГ}}) \cdot L_\varphi, \quad L_\varphi = a \cdot \sin \alpha + b \cdot \cos \alpha, \\
 M_z &= (F_{\text{ЛНВ}} + F_{\text{ПНВ}}) \cdot c - (F_{\text{ЛКВ}} + F_{\text{ПКВ}}) \cdot c;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где: F_x, F_y, F_z – управляющие силы ДРК; M_x, M_y, M_z – управляющие моменты ДРК; $F_{лкг}, F_{пкг}, F_{лнг}, F_{пнг}, F_{лкв}, F_{пкв}, F_{лнв}, F_{пнв}$ – упоры движителей; a,b,c,d – параметры размещения движителей в связанной с аппаратом системе координат OmXYZ; α – угол поворота горизонтальных движителей относительно продольной оси OX. Характеристики ДРК приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики ДРК МТПА «МАКС-300»

Параметр	Значение
Тип электродвигателя	Бесколлекторный постоянного тока со встроенными датчиками Холла
Марка электродвигателя	Faulhaber 4490 036 BS
Номинальное напряжение	36 В
Номинальная мощность на валу	120 Вт
Номинальная частота вращения вала	3000 об/мин
Тип гребного винта	Raboesch 4149-17/18, D=90 мм, Z=4
Швартовый упор горизонтального движителя	40 Н (30 Н на реверсе)
Швартовый упор вертикального движителя	35 Н (20 Н на реверсе)
Максимальная продольная тяга ДРК ($\alpha=22^\circ$)	146 Н (110 Н на реверсе)
Максимальная поперечная тяга ДРК ($\alpha=22^\circ$)	61 Н
Максимальная вертикальная тяга ДРК	140 Н (80 Н на реверсе)

Конструктивно движитель представляет собой бесколлекторный двигатель постоянного тока Faulhaber 4490 024 BS, размещенный в герметичном корпусе обтекаемой формы. На валу горизонтальных движителей установлен гребной винт, защищенный направляющей насадкой. Вертикальные движители размещены в водоводах блока плавучести и крепятся к нему при помощи фланцев (см. рис. 3).

Система бортового управления и навигации

Основу цифровой СБУН МТПА составляет локальная вычислительная сеть, которую через оптомодемы и преобразователь интерфейса ИИК образуют бортовое оборудование аппарата, контроллер автопилота и ноутбук судового комплекса с джойстиком.

СБУН МТПА обеспечивает:

- реализацию движения аппарата в соответствии с выбранным оператором режимом, включая стабилизацию заданных значений курса и глубины, а также нулевых углов крена и дифферента;
- поддержку и контроль информационного обмена между подсистемами аппарата и судовым комплексом;
- работу ИИК и сохранение получаемой информации от видеокамер, ГСО и других датчиков;
- в процессе работы аппарата диагностику систем, влияющих на функционирование бортовой аппаратуры.

Локальная сеть ТНПА включает комбинацию сегментов последовательных интерфейсов RS232, RS485 и CAN. Интерфейс CAN используется для связи контроллера автопилота с блоками управления движителями и прецизионным датчиком давления. Интерфейс RS485 необходим для информационного обмена с дополнительным оборудованием разработки ИПМТ (эхолокационная система, доплеровский лаг и оборудование УКБ ГАНС). Для подключения STD зонда с флуорометром WQM Wetlabs, граббера Seabotix и эхолота DST micron был организован сегмент интерфейса RS-232.

Информационно-измерительный комплекс

Информационно-измерительный комплекс (ИИК) состоит из навигационной высокочувствительной ЧБ камеры, цветной обзорной видеокамеры, светодиодных светильников, гидролокатора секторного обзора Imagenex 881L (опция), многолучевого

эхолота Imagenex 837 (опция), STD зонд WQM Wetlabs (опция), фотосистемы на базе цифровой фотокамеры «Видеоскан» (опция), оптомодема и преобразователя интерфейса на базе ARM контроллера, обеспечивающего согласование интерфейсов оборудования (CAN, RS-232 и RS-485) с E-net.

Размещение видеокамер обеспечивает визуальный контроль в передней полусфере аппарата. При этом обеспечена возможность вывода видеосигналов как на дополнительный видеомонитор, так и в видео окно графического интерфейса оператора через телевизионный тюнер типа AVerTV. Характеристики видеокамер представлены в таблице 3.

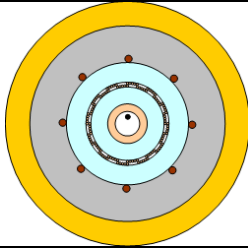
Таблица 3. Характеристики видеокамер ИИК

Название	Тип	Характеристики
VM32HGX-B36	Цветная	0,1 люкс/560 строк/104 ⁰
QNB209	ЧБ	0.003 люкс/570 строк/110 ⁰

Кабель связи

В качестве линии связи использован грузонесущий оптоэлектрический кабель связи КП100ВКП производства ООО «Псковгеокабель», характеристики которого приведены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики кабеля связи

Характеристика	Значение
Конструкция кабеля	
Токоведущие жилы	Коаксиал (медь): трубка ОВ – 1 мм ² оплетка – 1 мм ² R _{тпж} – 20.8 ом/км
Информационный канал	Одномодовое ОВ 9/125
Диаметр кабеля, мм	10
Разрывное усилие, кН	3,5
Плавучесть, кг/км	+0,66/-1,30

Выводы

1. В ИПМТ разработан многофункциональный МТПА, в структуру которого заложена конструктивная и интерфейсная возможность оперативного перевооружения большим набором опционального оборудования (ГСО, STD зонд, многолучевой эхолот, фотосистема, эхолокационная система, доплеровский лаг, УКБ ГАНС, граббер).

2. Принятая схема ДРК обеспечивает высокую маневренность аппарата и стабильность его углового положения по крену и дифференту, что значительно повышает качество инспектирования и производительность подводно-технических работ.

3. Оптический канал связи в совокупности со специализированными отечественными оптомодемами гарантирует высокое качество передачи двух видеопотоков и скоростной информационный обмен по интерфейсу Ethernet.

4. Использование грузонесущего оптоэлектрического кабеля нейтральной плавучести и малого диаметра сводит к минимуму силовые воздействия на аппарат и позволяет увеличить его рабочую зону в условиях течения.

Литература

1. Быканова А.Ю., Костенко В.В., Найдено Н.А., Михайлов Д.Н., Мун С.А., Щербатюк А.Ф. Опыт разработки и результаты испытаний малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата «Юниор» // Материалы 3-й научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 22-25 сентября 2009 г. С. 84-90
2. Быканова А.Ю., Костенко В.В., Щербатюк А.Ф. Патент на изобретение «Малогабаритный телеуправляемый подводный аппарат». № 23875870 от 27.04.2010 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СТАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ЛЕДОСТОЙКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ МКЭ И 3D ТЕХНОЛОГИЙ

И.В. Житников, В.А. Кулеш

ОАО НИПТБ «Онега», Северодвинск
e-mail: aj41@mail.ru, vkulesh@mail.ru

Введение

Развитие численного анализа на базе современных компьютерных технологий обеспечило качественно новый уровень решения многих инженерных задач. При использовании таких инструментов проектирования время на создание нового проекта существенно сокращается, что позволяет проектировщику меньше отвлекаться на расчеты в пользу более творческого подхода к созданию сооружений.

В данной работе представлена концепция стального основания ледостойкой платформы, предназначенной для разработки нефтегазовых месторождений в условиях ледовой обстановки и глубине моря 100 м. Использование для проектирования компьютерных технологий является необходимым для создания экономически эффективной и конкурентно-способной судостроительной отрасли в регионе.

Стальные ледостойкие платформы (СЛП) способны стать региональным проектом и альтернативой железобетонным платформам (ЖБП), постройка которых уже ведется в Приморье для проектов освоения Сахалинских нефтегазовых месторождений. Принципиальные отличия этих сложных инженерных сооружений:

1. Предлагаемые СЛП ближе к принципу «ледореза» – с минимальным противодействием. Соппротивление может быть на порядок меньше, чем у ЖБП-аналогов.
2. Основания ЖБП в Приморье изготавливают по западным проектам и технологиям при минимальном использовании отечественных машиностроительных мощностей.
3. СЛП можно изготовить по отечественным проектам и технологиям с максимальным использованием существующих и новых мощностей ДВ региона России.
4. СЛП можно оперативно собирать в таких же доках, где длительно «отливают» ЖБП, если применить кооперацию основных верфей региона и буксировки частей СЛП.
5. СЛП мобильны, могут многократно менять дислокацию на разных месторождениях, более ремонтпригодны и модифицируемы.
6. Основания ЖБП после отработки месторождений не используются вторично и часто остаются «искусственными островами» – преградой судоходству.
7. СЛП более сейсмостойки и безопасны, что крайне важно для шельфа острова Сахалин.
8. ЖБП существенно массивнее и тяжелее, чем СЛП. Несмотря на более высокую стоимость стали, общая стоимость СЛП будет значительно ниже.

Общий вид основания СЛП представлен на рис. 1. Оно включает низ основания в виде треугольной призмы с внутренними распорками (1), раскосы в плоскости распорок (2), главную колонну (3)

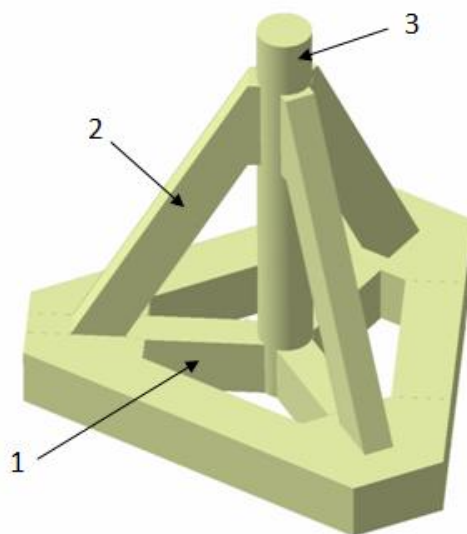


Рис. 1. Общий вид СЛП
(без верхнего строения)

цилиндрической формы, на которую опирается верхнее строение Заказчика (на рисунке не показано).

Определение главных размерений и веса

На начальном этапе проектирования построена базовая трехмерная модель с возможностью изменения габаритов. Это позволило легко и быстро определять важнейшие геометрические параметры, в том числе водоизмещение сооружения, моменты инерции и моменты сопротивления, с последующим использованием для расчетов.

Расчетное проектирование ведется на основании следующих условий:

1. Условие равновесия СЛП в плавучем положении (слагаемые в квадратных скобках не учитываются) и на грунте:

$$G_O + G_B + G_B + G_{TB} = \Delta(T) + R_T, \quad (1)$$

где G_O – вес основания СЛП без верхнего строения, т;

G_B – вес верхнего строения;

G_B – вес жидкого балласта, принимаемого внутрь;

G_{TB} – вес твердого балласта;

$\Delta(T)$ – сила поддержания или весовое водоизмещение при осадке T ;

R_T – реакция грунта.

2. Условие опрокидывания основания СЛП без верхнего строения под действием ледовых нагрузок:

$$(\min_2 G_B + G_O + [G_{доп}] - \Delta) \cdot B \geq P_L \cdot H_M. \quad (2)$$

Если условие не удовлетворяется, то, исходя из уравнения (2), вес основания увеличивается дополнительным балластом $[G_{доп}] = \frac{P_L \cdot H_M}{B} - \min G_B - G_O + \Delta$.

3. Условие прочности грунта на сжатие:

$$P_{\max} = \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M(P)}{W} \leq \sigma_{гр} \quad (3)$$

$G_{\max} = G_O + G_B + \max(G_B + G_{TB}) - \Delta$ – максимальный возможный вес СЛП при заполнении всех отсеков за вычетом подъемной силы (водоизмещения);

$M(P) = P_L \cdot H_M$ – опрокидывающий момент;

F – площадь контакта подошвы основания;

W – минимальный момент сопротивления площади F .

4. Проектируемая платформа является гравитационной и для ее несмещаемого положения на грунте без учета дополнительного крепления сваями необходимо обеспечить такую силу трения, которая бы компенсировала действующие в горизонтальном направлении нагрузки. В рассматриваемом случае расчетной смещающей нагрузкой является сила действия ледового поля

$$F_{TP} = (G - \Delta) \cdot K_{TP} \geq P_L, \quad (4)$$

где $G = G_O + \min G_B + \min G_B$.

5. Расчетные глобальные ледовые нагрузки оценены по формуле

$$P_L = \sigma_C \cdot h_{НЛ} \cdot b_K, \text{ МН} \quad (5)$$

где: σ_C – расчетная прочность льда на сжатие в МПа;

$h_{НЛ}$ – толщина наслоенного льда в метрах;

b_K – расчетный диаметр центральной колонны в метрах.

6. Давление моря равно сумме гидростатического давления и волнового,

$$P_{\text{max}} = 10(H_M + h_{\text{волн}}) \quad (6)$$

На основании перечисленных условий выбраны приемлемые габаритные размеры элементов, необходимые балласты и водоизмещение сооружения.

Конструктивные концепции и модели

Для центрального ствола сечение принимается в виде двух соосных окружностей, как показано на рис. 2. Для граней, распорок основания и раскосов используется концепция призматической формы. Такие решения наиболее просты в изготовлении, особенно при использовании автоматизированных станков. В качестве примера на рис. 3 изображен фрагмент призматического отсека раскоса.

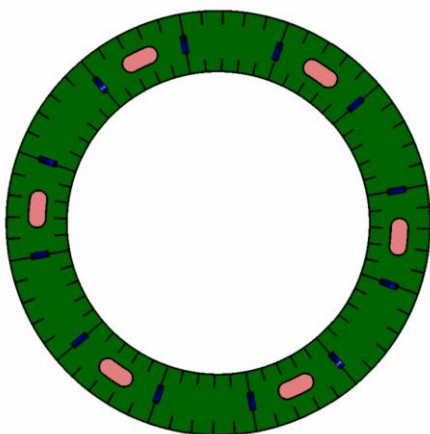


Рис. 2. Сечение центральной колонны

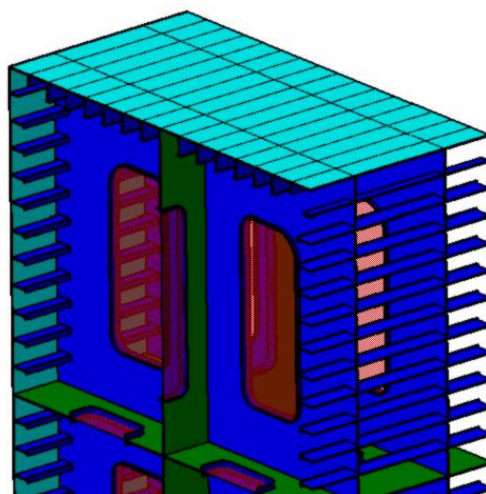
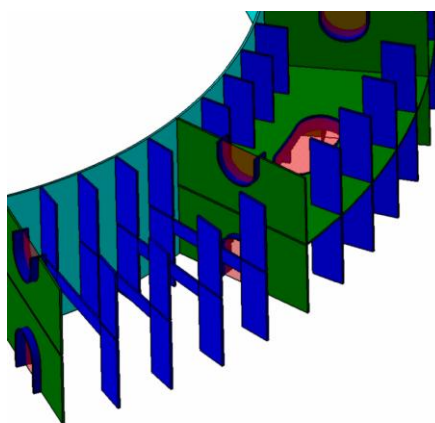
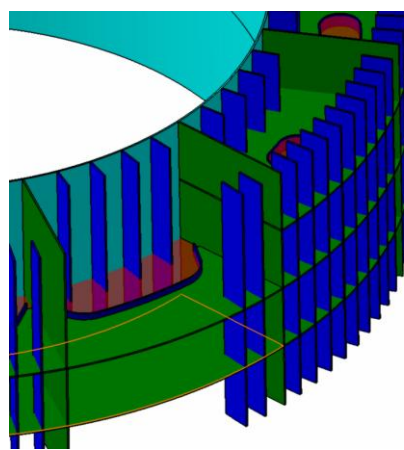


Рис. 3. Фрагмент призматического отсека раскоса СЛП

Принятая конструктивная концепция для колонны представлена на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4. Фрагменты конструкции цилиндрической колонны: а) ниже ледового пояса и б) в ледовом поясе

Для всех конструкций в качестве основной выбрана продольная система. Размеры и толщины конструктивных элементов по данной и любой другой концепции подлежат определению в результате расчетов прочности. Учитывая, что все элементы очень близки к судовым, за основу взяты требования Правил постройки судов морского регистра

судоходства. Если полученные размеры и толщины не удовлетворяют по разным причинам заказчика, то необходимо поменять или скорректировать исходную концепцию.

Применительно к судостроительным сталям важны такие понятия, как марка стали, ее категория и механические свойства.

Для материала СЛП σ_n следует использовать вместо R_{eH} (предел текучести), если сооружение будет испытывать существенные циклические нагрузки, как корпус корабля. Если таких нагрузок не ожидается, то можно принять $\sigma_n = R_{eH}$.

Категория стали – понятие международное, которое включает представление проектировщика, как о прочности, так и о выносливости с учетом низких температур.

Для того чтобы выбрать категорию стали, необходимо задать расчетную температуру стали, на весь период службы.

Для верхней части СЛП, включая ледовый пояс, расчетная температура принята -40°C . При толщинах $S \geq 40$ мм принимается сталь РС F40CBZ35, Правила РС, ТУ 5.961 – 11679 – 2005.

Для подводной части СЛП расчетная температура 2°C , что при $S < 25$ мм позволяет принять сталь РС В32.

Проверка общей и местной прочности МКЭ

Цель анализа общей прочности СЛП – проверить раскосы и колонну спроектированного сооружения на потерю устойчивости и определить возникающие напряжения. Главный плюс МКЭ в данном случае – это исключение необходимости составления специальной методики «ручного» расчета для подобного сооружения. Учитывая уникальность СЛП, данная особенность метода конечных элементов позволяет значительно сократить время на проектирование и получить более точный результат расчета.

Для выполненного расчета использована упрощенная трехмерная модель (без набора) с грубой сеткой. Элементы конструкций сооружения представлены в виде полых трубчатых сечений квадратного или круглого профиля с приведенной толщиной стенки, эквивалентной по площади сечения и габаритам.

В качестве расчетного был выбран случай, когда результирующая ледовая нагрузка лежит в плоскости одного из раскосов. Для корректного определения устойчивости данного раскоса в него были добавлены поперечные рамы (диафрагмы), рис 5. Напряжения вне узлов с концентраторами не превысили 200 МПа.

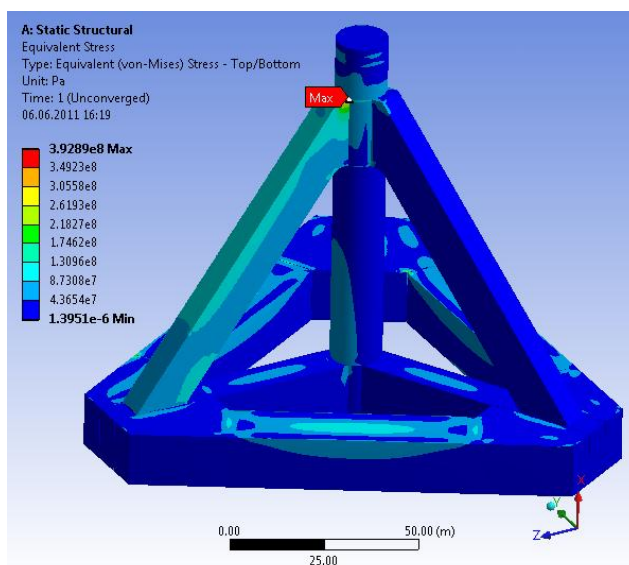


Рис. 5. Напряжения в конструкциях СЛП при расчете общей прочности и устойчивости

В качестве примера МКЭ-анализа местной прочности ниже показан фрагмент главной колонны, рис. 6. Подобный расчет позволяет легко спроектировать сложные конфигурации конструкции, все разнообразие которых невозможно учесть с помощью формул, а также усовершенствовать проект, если в некоторых местах прочность недостаточна или наоборот избыточна.

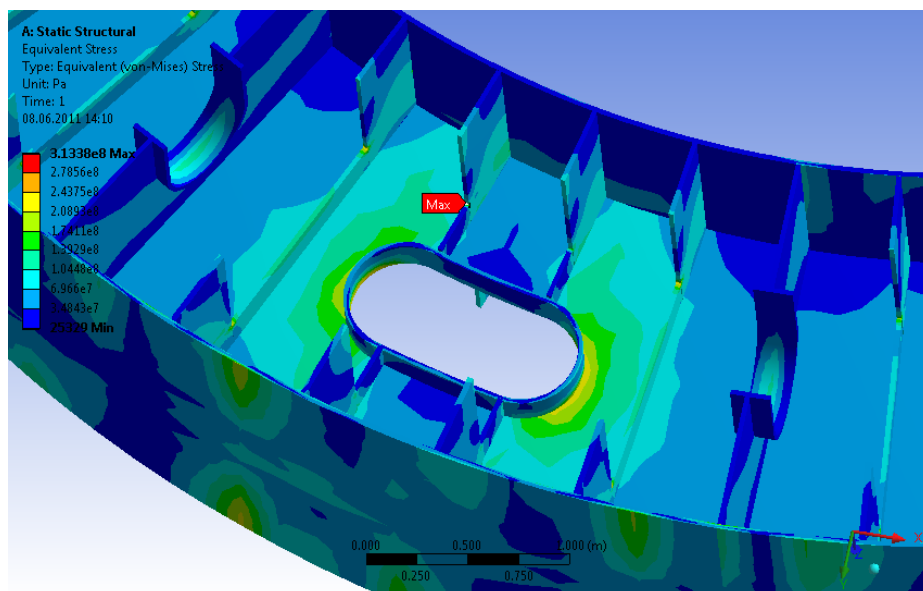


Рис. 6. Фрагмент конструкции главной колонны с эквивалентными напряжениями

После того, как конструктивные решения окончательно уточнены с учетом всех факторов, использование твердотельной объемной трехмерной модели всех конструкций позволяет определить весовые параметры всего основания СЛП в целом. Это не требует составления объемных таблиц конструктивных элементов с расчетами веса каждой детали. Автоматическое производство таких деталей – следующий этап использования трехмерных моделей.

Заключение

В ходе работы выявлены существенные отличия отечественных СНиП и проекта Правил ISO/DIS 19906 в части ледовых нагрузок, которые показали необходимость продолжения научных исследований в этом вопросе, в том числе экспериментальных.

Предложенная концепция СЛП с учетом верхнего строения обеспечит в 1,5-2 раза меньшую стоимость в сравнении с ЖБП аналогами или соответствующий рост числа объектов при равных инвестициях. В конечном итоге это позволит ускорить темпы освоения нефтегазовых месторождений на шельфе замерзающих морей.

Проведенный расчетный анализ показывает реальность подобных проектов, которые могут стать «локомотивом» для подъема и развития машиностроения и высоких технологий в ДВ регионе России.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ ПРОТИВОМИННОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО КОМПЛЕКСА

Вит.В. Вельтищев, С.А. Егоров, А.С. Куценко, Вад.В. Вельтищев

Научно-исследовательский институт специального машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана 105005, Москва, Госпитальный пер., 10, тел./факс: (499) 263-61-15, e-mail: sm42@sm.bmstu.ru

В докладе представлен разработанный в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана компьютерный тренажерный комплекс (ТК), предназначенный для подготовки операторов противоминного телеуправляемого подводного комплекса (ТПК) к решению задач поиска и обработки миноподобных объектов (МПО). При работе на ТК операторы выполняют упражнения на моделях, обеспечивающих имитацию функционирования штатных систем ТПК без участия других аппаратных средств – самоходного телеуправляемого подводного аппарата (СПА), системы лебедочной кабельной (СЛК) и других.

В состав ТК входят следующие программы: «Загрузчик пульта управления СПА», «Инструктор»; «Пульт управления СПА» (ПУ СПА); «Загрузчик пульта управления ГТС» (ГТС – гидроакустические и телевизионные системы); «Пульт управления ГТС» (ПУ ГТС); «Динамика и визуализация»; «Система управления» (СУ); «Сервер». Функционирование программ ТК осуществляется на вычислительных средствах штатного пультового оборудования ТПК (рис. 1) под управлением операционной системы Linux.

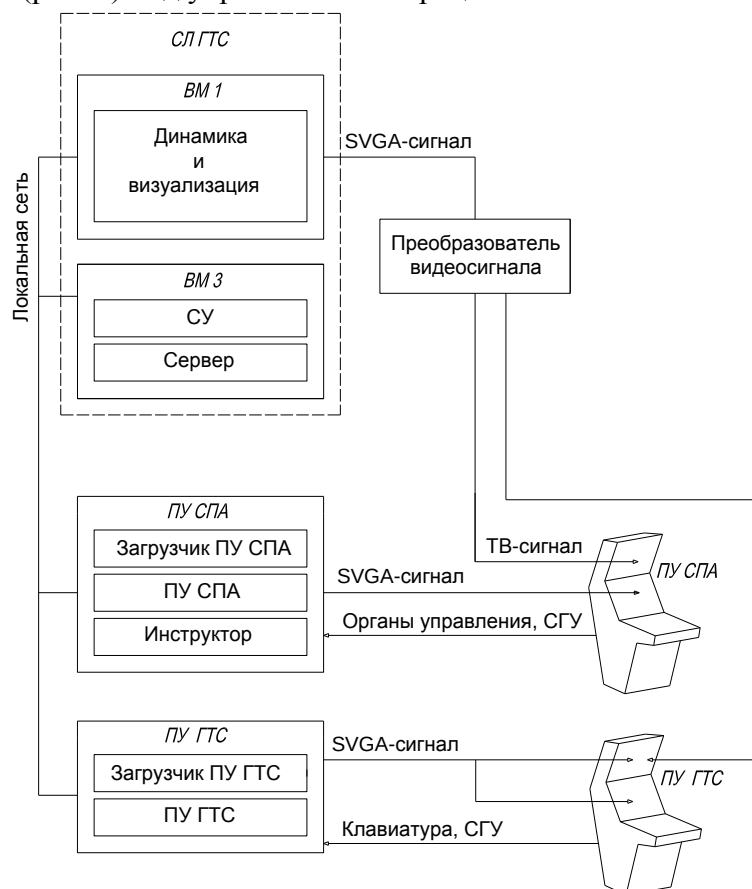


Рис. 1. Схема расположения программ ТК (ПУ СПА, ПУ ГТС – штатные пульты оператора, управляющего СПА и оператора-гидроакустика; СЛ ГТС – стойка логическая ГТС)

Программа «Загрузчик пульта управления СПА» предназначена для выбора режимов работы ПУ СПА – штатный или режим тренажера. Так же программа позволяет выключать и перезагружать все ЭВМ ТК, за исключением ЭВМ ПУ ГТС.

Программа «Инструктор» предназначена для задания вида учебной миссии в ТК и оценки действий операторов в ходе ее выполнения. При создании миссии решаются следующие задачи: выбор района миссии на карте акватории; отображение карты района миссии; поддержка различных типов МПО и ложных объектов; размещение СПА, МПО и ложных объектов на карте; задание параметров систем ТПК и среды; установка/снятие целеуказания (ЦУ) для СУ; сохранение миссий в файл с возможностью последующей загрузки; передача программам тренажера конфигурации миссии; диагностика состояния программ тренажера. При выполнении миссии дополнительно решаются следующие задачи: мониторинг положения СПА; оценка работы оператора с тросорезами и полезной нагрузкой (ПН); обеспечение возможности многократного сброса ПН в течение одной миссии; запуск и приостановка хода миссии; переключения между программой ПУ СПА и программой инструктора; размещение новых объектов и изменение свойств установленных. При создании модели виртуального подводного мира используется карта морской акватории с изобатами. В программе «Инструктор» реализована возможность изменения параметров внешних условий среды: направление подводного течения; скорость течения; прозрачность среды. Также в инструкторе реализована возможность ввода неисправностей забортной части ГТС и корабельной части ГАНС.

Программа «Пульт управления СПА» в процессе работы обеспечивает: имитацию управления положением СПА в реальном масштабе времени; имитацию переключения режимов работы СПА в реальном масштабе времени; отображение состояния имитируемых систем ТПК; отображение в символьном и графическом виде в реальном масштабе времени положения СПА относительно носителя и выбранных объектов на карте; отображение в символьном и графическом виде в реальном масштабе времени найденных объектов; отображение в трехмерном виде в реальном масштабе времени геометрической модели СПА; связь с другими модулями тренажерного комплекса.

На дисплее пульта управления СПА отображаются курс, дифферент, крен, глубина, отстояние СПА от дна, координаты положения СПА относительно носителя и репера, длина кабеля и его закрутка, карта положения СПА относительно носителя или репера, сообщения о работе систем ТПК, информация о состоянии СПА. Кроме того, программа «ПУ СПА» обеспечивает диалоговые средства взаимодействия оператора пульта управления СПА, воспроизведение телевизионного изображения с имитируемых телекамер СПА.

Программа «Загрузчик пульта управления ГТС» предназначена для выбора режимов работы пульта управления гидроакустическими и телевизионными системами. В процессе работы программа обеспечивает перевод ПУ ГТС в штатный режим или режим тренажера, а также выключение и перезагрузку ЭВМ ПУ ГТС.

Программа «Пульт управления ГТС» предназначена для имитации работы гидроакустических и телевизионных систем и программного обеспечения ПУ ГТС в режиме тренировки операторов. В ТК реализовано моделирование гидроакустических систем с отображением информации на мониторах пульта управления ГТС: эхолота и акустического лага; гидроакустической станции миноискания (ГАСМ); гидролокатора секторного обзора (ГЛС СО); гидроакустической навигационной системы (ГАНС). Также в процессе работы программа «ПУ ГТС» обеспечивает имитацию работы системы распознавания целей, реализует связь по сети с другими программами тренажера. На пульте управления ГТС имитируются диалоговые средства взаимодействия оператора пульта управления ГТС, отображение гидроакустической информации, представление навигационной карты с размещением МПО.

Программа «Динамика и визуализация» предназначена для реализации алгоритмов расчета динамики движения объектов виртуальной подводной среды, а также для имитации работы телевизионных систем ТПК. В процессе работы программа обеспечивает: расчет динамики движения СПА; расчет параметров столкновений объектов виртуальной подводной среды; расчет модели лебедки и кабеля; расчет модели морского дна; расчет динамики движения мин и ложных объектов в водной среде с учетом течений; моделирование работы СПА с полезной нагрузкой; передачу по сети информации о координатах и скоростях СПА другим программам тренажера; прием и обработку управляющих команд от других программ тренажера; визуализацию подводной среды с учетом глубины расположения наблюдателя; визуализацию планктона в толще воды; имитацию работы телевизионных систем ТПК, в том числе квадратора; имитацию штатных телекамер СПА; возможность включения технологических телекамер, связанных с СПА и кораблем; управление технологическими телекамерами по сети с ПУ ГТС; моделирование источников освещения с учетом параметров среды; визуализацию поверхности морского дна; визуализацию моделей СПА, мин, ложных объектов, корабля с учетом свойств материалов.

Программа «Динамика и визуализация» реализует моделирование динамики движения подводного аппарата с учетом гидродинамики водной среды и влияния кабеля, моделируются штатные режимы управления СПА, моделируется работа двух тросорезов СПА. Моделирование телевизионного изображения реализуется для шести телекамер: левая тросорезная камера; правая тросорезная камера; маршевая телекамера; камера внизсмотрящая; две внешние технологические телекамеры.

Программа «Система управления» реализует алгоритмы системы управления СПА и лебедкой. Решаемые задачи: прием данных о состоянии органов управления из ПУ СПА; реализация логики переключения режимов; расчет управляющих воздействий на движители СПА; расчет скорости травления и выборки кабеля; выдача данных для индикации на ПУ СПА.

Для гибкой настройки контуров СУ в программе реализована загрузка коэффициентов из файла и возможность вывода диагностической информации.

В программе «Система управления» моделируются следующие каналы управления: управление СПА по курсу, дифференту, крену, маршу, лагу, по глубине/отстоянию от дна; управление светом, телекамерами, тросорезами, сбросом полезной нагрузки; управление лебедкой. Моделируются следующие режимы работы СУ ТПК: «ручной», «автоматизированный», «Динамическое позиционирование» по данным гидроакустического лага или системы видеостабилизации, «автоматический» (программы «Выход в зону цели по данным ГАНС/ГАСМ», «Выход в зону цели по данным ГЛС СО»).

Программа «Сервер» предназначена для обеспечения информационного взаимодействия программ в составе информационной сети ТК. Программа обеспечивает установление соединений для циклического обмена информацией между программами ТК, мониторинг состояния связи с программами ТК и оперативное оповещение остальных программ о наличии неисправностей в сети, гарантированную доставку разовых информационных сообщений между программами.

Схема информационного взаимодействия программ ТК показана на рис. 2.

При включении электропитания пультового оборудования ТПК на пультах управления запускаются программы-загрузчики. После выбора режима происходит удаленный запуск программ: «Загрузчик ПУ СПА» запускает программы, размещенные на ЭВМ ПУ СПА и СЛ ГТС, «Загрузчик ПУ ГТС» – программы, размещенные на ЭВМ ПУ ГТС. Запущенные программы соединяются с сервером. При этом готовность программ отображается на нижнем экране ПУ СПА в диалоге диагностики программы «Инструктор». После завершения подготовки диалог исчезает – ТК готов к работе.

После запуска ТК инструктор задает конфигурацию миссии. При этом из программы «Инструктор» отсылаются данные другим программам ТК: программе «Динамика и визуализация» – глубина для инициализации акватории, положения объектов и СПА, длина кабеля и параметры среды; программе «ПУ СПА» отсылается начальное положение СПА, ЦУ; программе «ПУ ГТС» – глубина акватории, положения объектов, параметры датчиков; программе «Система управления» отсылаются параметры СПА, длина кабеля СЛК. При расстановке объектов из программы «Динамика и визуализация» присылается точная глубина акватории с учетом микрорельефа дна.



Рис. 2. Схема взаимодействия программ ТК

В процессе занятий операторы управляют противоминным комплексом посредством ПУ ГТС и ПУ СПА. По окончании анализируются результаты и подводятся итоги.

СПА управляется с помощью рукоятки и кнопок на ПУ СПА. При этом на верхнем экране отображается картина с телекамер, а на нижнем экране – карта с положением СПА, информация о целях и данные с различных датчиков. При отклонении рукоятки или нажатии кнопок программа «ПУ СПА» формирует задающие сигналы для программ «СУ» и «Динамика и визуализация» (для управления движением СПА, СЛК, светильниками, тросорезами и полезной нагрузкой). В программу «СУ» поступают задающие воздействия, а сигналы из СУ управляют двигателями СПА в модели динамики. В программе «Динамика и визуализация» моделируется СПА с подводной средой, а также датчики, расположенные на СПА. Положение СПА в пространстве передается программам СУ (для обратных связей), ПУ СПА, ПУ ГТС (для модели гидроакустики), в «Инструктор» (для журнала миссии).

Моделируемое изображение с телекамер поступает на верхний экран ПУ СПА.

При работе с ПУ ГТС задаются режимы работы гидроакустических систем и выдаются ЦУ на обнаруженные цели. Из модели динамики непрерывно поступают данные о положении и ориентации СПА (из программы «Динамика и визуализация»). С учетом этих данных строится гидроакустическая картина с ГЛС СО. Информация о целях в зоне видимости ГЛС СО передается в программу «ПУ СПА» для отображения на карте. Данные о текущих режимах и состоянии датчиков передаются в программы «Динамика и

визуализация», «ПУ СПА» и «Инструктор» для индикации. При выдаче ЦУ данные о цели поступают в «ПУ СПА».

Данные о состоянии ПУ СПА и ПУ ГТС предаются в журнал событий инструктора.

На рис. 3 представлен вид экранов операторов ПУ СПА (в режиме инструктора – а, б; в режиме управления СПА – в, г (телевизионная картинка, состоящая из изображений двух телекамер)), ПУ ГТС (д, е).

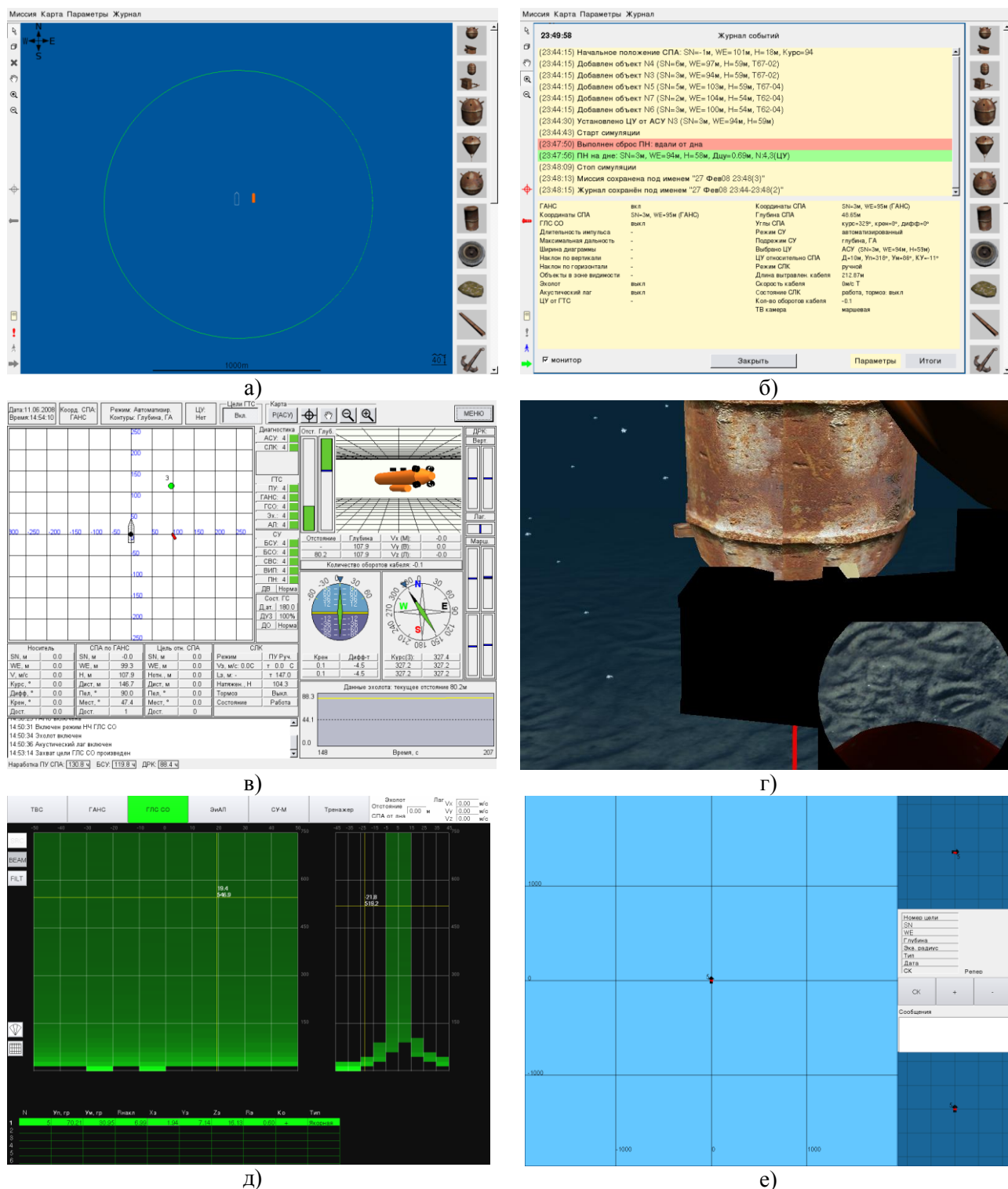


Рис. 3. Вид экранов операторов, формируемых программами «Инструктор» (а, б), «Пульт управления СПА» (в), «Динамика и визуализация» (г), «Пульт управления ГТС» (д, е)

ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Д.Г. Ляхов¹, С.А. Мун²

¹Институт проблем морских технологий ДВО РАН
690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (4232) 432416,
e-mail: lyakhov@marine.febras.ru

²Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, Суханова, 8, тел./факс: (4232) 432706, e-mail: moun@list.ru

Рассматриваются вопросы подготовки операторов комплексов необитаемых подводных аппаратов (НПА). Анализируется состав групп эксплуатации и квалификационные требования к персоналу для выполнения задач по назначению НПА. Рассматривается зарубежный опыт подготовки операторов на примере школ Международной ассоциацией морских подрядчиков – International Marine Contractors Association (IMCA) «ROV Pilot Technician Grade 2» и его применение в Российской системе морского образования.

Введение

Любой продукт промышленного производства проходит стадии жизненного цикла, одной из которых, а по сути, главной, является его эксплуатация потребителем. Подводные аппараты делаются в соответствии с порядком разработки и постановки продукции на производство по СРПП ГОСТ 15. Еще на стадии разработки технического задания (ТЗ) выдвигаются требования к численности и квалификации персонала, эти требования реализуются разработчиком в техническом проекте (ТП) в разделах «Численность, функции и квалификация персонала» и «Мероприятия по подготовке персонала». Современный подводный аппарат выполняет функции по назначению при помощи аппаратных средств, программного обеспечения и персонала (операторов и техников). Комплекс НПА по многим признакам является Автоматизированной системой (АС), для которой «по-хорошему» требуется разработка организационной структуры управления объектом АС.

Эффективность и безопасность эксплуатации НПА определяется требованиями эксплуатационной документации (ЭД), в частности, руководством по эксплуатации (РЭ), которую предоставляет изготовитель/поставщик, исходя из материалов рабочей конструкторской документации (РКД) разработчика, материалов технологической подготовки производства (ТПП) технологов. Численность персонала эксплуатирующей группы (ROV/AUV Team) на практике составляет 3 человека и более.

Применение НПА

На сегодняшний день существует сложившаяся мировая практика применения НПА, причем, в основном это «подводное строительство» в «оффшоре». Наибольший коммерческий сегмент оборудования подводной индустрии на сегодня составляют комплексы ТНПА рабочего класса (РТПА) с глубинами погружения 2000-4000 м, для размещения и развертывания с рабочей палубы, либо предусмотренных ангаров специализированных судов Multipurpose/ROV-Support/Survey Vessel.

Типовыми задачами использования РТПА в оффшоре является поддержка разведочного и эксплуатационного бурения, оборудование устьев скважин с подводным закачиванием, прокладка трубопроводов и другие работы с общей направленностью подводного строительства и инженерных изысканий с ним связанных. Разработку и обустройство шельфовых месторождений, как правило, ведут специализированные

компания – морские подрядчики (Underwater Contractors). Например, крупная норвежская компания «DOF Subsea» имеет в своем распоряжении 23 специализированных судна, 25 комплексов ТНПА рабочего класса и один АНПА Hugin с рабочей глубиной 3000 м.

Общее количество всех задействованных на данный момент комплексов РТПА в мировом масштабе составляет по разным оценкам около 500-1000 ед. Количество ТНПА меньших классов ориентировочно 2000-3000 ед. Несколько десятков АНПА малого класса и около десятка больших эксплуатируются в гражданской морской деятельности на постоянной основе. В среднем, в мировом «оффшоре», ежегодно производится около 5000 разведочных и эксплуатационных бурений. В настоящее время подводная добыча ведется из более чем 6000 скважин, что вдвое больше в сравнении с количеством 2006 г. Прогноз в потребности новых комплексов РТПА в 2011 г. составляет порядка 120 ед., а до конца 2014 г. около 550 ед.[1]

Суточная стоимость морских буровых работ, включая стоимость амортизации плавучего бурового комплекса, может достигать \$500 000. Учитывая, что причинами 80% аварий в оффшоре и на морском транспорте является человеческий фактор (Human and Organizational Error) важность подготовки персонала становится очевидной.

IMCA

Вопросы применения технических средств, специальных судов и водолазного обеспечения шельфовых разработок с 1972 г. регламентируются в руководящих документах Международной Ассоциации Морских Подрядчиков (или морских подрядных организаций). Организация, основанная в 1972 г. как AODC (the Association of Offshore Diving Contractors) в современном виде «The International Marine Contractors Association» (IMCA), на сегодняшний день объединяет более 700 «игроков» мировой подводной индустрии, в числе которых крупнейшие: Subsea 7, Saipem, Statoil, DOF, Fugro, Hallin Marine [2].

Требования к квалификации персонала, задействованного в эксплуатации НПА, определяются условиями контракта на выполнение работ и в большинстве случаев должны быть не ниже уровня ROV Pilot Technician Grade 2, который можно получить при прохождении обучения в одном из 28-ми аккредитованных обучающих центров по всему миру (IMCA Training Establishments), 12 из которых находятся в азиатско-тихоокеанском регионе, в том числе единственный российский (МГУ им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, с 2009 г.)

Общие рекомендации к начальному уровню претендентов на квалификацию ROV Pilot Technician Grade 2 излагаются в [3], состоят в следующем.

Для претендентов необходимо наличие среднего профессионального образования по одной из специальностей – технической, технологической, экономической или управленческо-коммерческой направленности в сфере:

- электротехника, электронная техника, радиотехника и связь (electrical, electronics);
- технологические машины и оборудование (hydraulics, mechanics).

Либо иметь начальное образование, рабочую специальность близкого профиля и 3-х летний производственный опыт, либо после службы в армии. Квалификации более высокого уровня (высшее образование), равно как морской опыт и различные свидетельства об успешной профильной занятости, так же приветствуются. Кандидаты также должны:

- обладать личными качествами, необходимыми для длительной, интенсивной работы в морских условиях;
- знать английский язык устно (fluent) и письменно;
- иметь справку о медицинском освидетельствовании (Offshore medical Examination).

- С большой вероятностью для работ на буровых судах придется проходить курсы:
- BOSIET Basic Offshore Safety Induction & Emergency Training (вводный инструктаж по технике безопасности);
 - HUET Helicopter Underwater Egress Training (инструктаж по аварийному покиданию вертолета).

Рекомендованная IMCA структура программы курса подготовки на минимальный уровень ROV Pilot Technician Grade 2, согласно [4], представлена в Таблице 1.

Таблица 1. Требования IMCA к структуре программы обучения и длительности вводного курса

	Наименование раздела	Длительность
1	Training in High Voltage Electricity (Высоковольтное электрооборудование)	2-3 дня
2	Training on Crane Operations, Lifting and Winches (Спускоподъемные операции, Судовое подъемно-транспортное и погрузочно-разгрузочное оборудование)	2 дня
3	Introductory Training on Rigging and Slings (Грузоподъемные работы и спускоподъемные операции)	2 дня
4	Training on Hydraulic Systems (Гидравлические системы)	2-3 дня
5	Overview Training on Health, Safety and Environmental Awareness (Работа ТНПА в подводной среде и производственная безопасность)	0,5 дня
6	Training in Manual Handling (Подъем и перемещение тяжестей вручную)	2-3 часа
7	Typical Offshore Operations, Installations, Facilities and Vessels for ROV Operations (Общие сведения о методах проведения подводных работ)	не регламентируется
8	Remotely Operated Vehicle Systems (Устройство комплекса ТНПА и его подсистем)	не регламентируется
9	Duties of the Members of an ROV Crew (Обязанности членов группы эксплуатации НПА)	не регламентируется
10	Практические занятия по управлению НПА	не регламентируется

Как легко заметить, приведенная структура курса позволяет сообщить базовые знания о методах работы на судне с любой развертываемой за борт аппаратурой, относящейся практически к любому типу НПА вне зависимости от модели его использования. Во многих случаях программа содержит разделы 7, 8, 9 и практические занятия 10 на конкретном ТНПА, причем, основу материала о составе, устройстве, работе ТНПА и его подсистем составляет в этом случае соответствующая эксплуатационная документация. Следует отметить, что навыки пилотирования и знание матчасти не являются первостепенными, основой является охрана труда и техника безопасности в морских условиях, и как следствие безаварийность и эффективность работы.

Примером реализованной таким образом образовательной программы можно считать двенадцатидневный курс школы Abel (Италия) в объеме 120 часов теоретических и практических занятий с обязательным занесением минимум 12 часов стажа управления аппаратом в личную книжку оператора установленного образца (IMCA ROV Personnel Logbook). Практические занятия проводятся на широко распространенном в подводной индустрии (>200 ед.) аппарате «Falcon» английской компании Seaeye. Стоимость курса составляет 5000€.

В личную книжку оператора в дальнейшем вносятся данные о работе, выполненной специалистом. Повышение квалификации до следующих уровней происходит последовательно в виде профподготовки на производстве (на судне): 180 дней стажа в должности ROV Pilot Technician Grade 2 и 100 часов личного пилотирования дает возможность получить должность ROV Pilot Technician Grade 1. При стаже в ней от 360 дней и еще 100 часов личного пилотирования возможно получение должности Senior ROV Pilot Technician, еще 180 дней успешной работы позволяют претендовать на должность руководителя (ROV Supervisor), который руководит группой ROV Team.

Российские курсы операторов

В российской практике наиболее развитым является сектор телеуправляемых по кабелю подводных аппаратов, принятых на снабжение в СПАСР ВМФ, МВД, ФГУ «Госморспасслужба России». ТНПА используются в научной работе РАН по морской тематике. Единичные экземпляры АНПА применяются в специальных поисковых глубоководных операциях. По оценкам авторов в России на сегодня эксплуатируется или находятся в работоспособном состоянии 10-20 комплексов ТНПА рабочего и легкого рабочего класса (с рабочими глубинами более 300 м, полноценным комплектом навесного и навигационного оборудования), 30-40 ТНПА осмотрового класса и около 100-150 аппаратов малого и микро классов. Основная масса средств подводной робототехники, представленная в России, импортного производства.

Формально, любое обучение граждан РФ, подразумевающее образовательный процесс (программу, наличие преподавателей и т.д.), если это не является разовой лекцией, семинаром и т.п., регламентируется ФЗ «Об Образовании» и должно производиться образовательным учреждением с соответствующей лицензией. Поэтому для подготовки эксплуатирующего персонала, соображения производителя НПА, представленные в ЭД, и накопленный мировой опыт, отраженный в рекомендациях IMCA, не являются достаточными.

Существующая российская практика предоставления поставщиком оборудования образовательной услуги типа «обучение представителей заказчика» хотя и не является юридически корректной, имеет место из-за сложности доказательства факта ведения образовательной деятельности без лицензии, т.к. в явном виде плата за обучение не взимается.

Профессиональное обучение в РФ делится на профессиональное образование и дополнительное профессиональное образование.

Получить профессиональное образование (начальное, среднее, высшее) можно только в образовательных учреждениях профессионального образования, из перечня профессий, утвержденных соответствующими приказами Минобрнауки. Текущий перечень не содержит профессии «оператор подводного аппарата».

Дополнительное профессиональное образование (повышение квалификации, профподготовка и переподготовка) может проводиться в образовательных учреждениях профессионального образования, а дальнейшее – до руководителя группы эксплуатации, по аналогии с IMCA Supervisor – непосредственно в организации (на судне/в пароходстве).

Заключение

В настоящее время в РФ определены только водолазные подводно-технические работы [5]. Термин «Подводный аппарат» в общероссийском классификаторе продукции ОКП ОК 005-93 в явном виде не встречается. Формально действующие стандарты 80-х [6,7] содержат лишь краткие пояснения без какой-либо дальнейшей конкретизации.

Возможно, благодаря тому что «Подводные аппараты» отнесены к разделу 629.5 УДК «Водные средства транспорта. Плавучие средства. Судостроение», некоторые производители

и поставщики рассматривают НПА иногда как «Суда морские научно-исследовательские, промышленно-хозяйственные, учебно-производственные и др. морские» (ОКП 74 1680 6), некоторые как «Судовое оборудование» (ОКП 64 1872 0201).

В существующей системе российского образования можно проводить лишь подготовку (дополнительное профессиональное образование) в образовательном учреждении на основе одного из образовательных уровней по «близким» специальностям (см. табл. 2), что хорошо согласуется с отнесением НПА к судам или судовому оборудованию. Объем программы подготовки эксплуатирующего персонала по аналогии с зарубежным опытом должен быть в пределах 70-100 часов теоретических и 30-50 часов практических занятий. Большинство существующих НПА имеют систему управления на базе ПК, поэтому, чтобы управлять НПА и выполнять виды работ 1-6 из табл. 1, работая при этом на судне, как минимум необходимы квалификации 1, 2, 3 табл. 2 и соответствующие допуски по промбезопасности.

Определяющим фактором появления профессии «Оператор НПА» являются объемы экономической деятельности под водой, пропорционального количества задействованных НПА и соответственно операторов.

Таблица 2. Данные о программах профессионального образования

№	Код	Наименование	Срок обучения	Квалификация по завершению образования
Начальное профессиональное образование				
1	16199	Оператор электронно-вычислительных машин	4 месяца	Оператор электронно-вычислительных машин
2	13482	Матрос	6 месяцев	Матрос 1 класса
3	19749	Электрик судовой	6 месяцев	Электрик судовой 1 класса
4	11465	Водолаз	3 месяца	Водолаз 3-го разряда
Среднее профессиональное образование				
5	230103	Автоматизированные системы обработки информации и управления	2 года 10 месяцев	Техник
6	190501	Эксплуатация транспортного электрооборудования и автоматики	2 года 10 месяцев	Техник
Высшее профессиональное образование				
7	180100	Кораблестроение и океанотехника	4 года	Бакалавр
8	180404	Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики	5,5 года	Специалист
9	130601	Морские нефтегазовые сооружения	5 лет	Специалист

Литература

1. Westwood J., The World AUV Report 2010-19 Hydrography/Geophysics, Oceanology International, London, 10th March 2010.
2. <http://www.imca-int.com>
3. Entry Level Requirements and Basic Introductory Course Outline for New Remotely Operated Vehicle (ROV) Personnel, IMCA R 002 Rev. 2
4. Guidance on Outline Syllabi for ROV-Related Training Courses, IMCA R 010
5. ЕНиР сборник Е39 - подводно-технические работы
6. ГОСТ 18458-84, Приборы, оборудование и плавсредства наблюдений в морях и океанах. Термины и определения
7. ГКИНП-11-140-81. РТМ Топографо-геодезические работы на шельфе и внутренних водоемах. Термины и определения. п.26

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Ю.К. Алексеев¹, В.В. Костенко²

¹Дальневосточный федеральный университет
e-mail: jkalekseev@mail.ru

²Институт проблем морских технологий ДВО РАН
690950, Владивосток ул. Суханова, 5а, e-mail: kostenko@marine.febras.ru

В докладе рассматривается почти сорокалетний опыт подготовки инженерных и научных кадров в области морских технологий и подводной робототехники Дальневосточным государственным техническим университетом (ДВГТУ) в содружестве с Институтом проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН.

Рост научно-технического потенциала на Дальнем Востоке России после организации Дальневосточного научного центра (ДВНЦ) АН СССР и наличие вблизи тихоокеанского бассейна старейшего технического вуза – Дальневосточного политехнического института (ДВПИ) им. В.В. Куйбышева (позже ДВГТУ, ДВФУ) обусловили развитие в Приморье многоплановых научных исследований и опытно-конструкторских работ по созданию технических средств освоения Океана, морских технологий и подводной робототехники (ПР). В процессе разработки и передачи экспериментальных образцов необитаемых подводных аппаратов (НПА) заказчикам выявилось, что разрабатывать и грамотно эксплуатировать опытные изделия могут лишь сами их создатели. Своеобразие новой техники, обилие разнообразных приборов и систем, построенных на разнообразных физических принципах, требовали специально подготовленных инженеров. Однако вузы не выпускали специалистов нужного профиля.

Поскольку зарождение и развитие подводной робототехники в нашем регионе в значительной степени (кроме ИПМТ) происходило еще и в вузах или было с ними тесно связано, естественным было стремление к использованию уже первых результатов исследований в учебном процессе.

В ДВПИ на кафедре гироскопических приборов и устройств факультета радиоэлектроники и приборостроения уже в 1973/74 учебном году (с началом госбюджетных работ по анализу зарубежной подводной техники, проработке схем построения перспективных телеуправляемых подводных аппаратов, методов и средств управления ими) элементы подводной техники стали вкрапливаться в различные традиционно читаемые специальные курсы.

В курсе «Теория автоматического регулирования» подводный аппарат рассматривался как пример объекта управления. Составлялись передаточные функции по каналам стабилизации. Требования к качеству переходных процессов очень наглядно иллюстрировались примером мягкой посадки НПА на дно и т.п. В курсе «Навигационное оборудование движущихся объектов» рассматривались вопросы автономных систем инерциальной навигации. При рассмотрении проблем комплексирования указывалось на целесообразность и перспективность использования гидроакустической навигационной информации (доплеровский лаг и системы позиционирования ГАНС-ДБ, ГАНС-УКБ). Обсуждались возможности конвертирования различных авиационных датчиков навигационно-пилотажных параметров, с целью их использования для навигации и управления подводными аппаратами (индукционных ферромагнитных датчиков, гиромагнитных систем, гирополукомпасов, гировертикалей, датчиков давления, элементов автопилотов и т. п.).

Особенно интересными были примеры НПА в курсе «Системы гироскопической стабилизации и управления движущимися объектами», где рассматривались САУ различными объектами: самолетами, вертолетами, кораблями, ракетами, элементами

космической техники; автопилоты, авторулевые и т.п. Проводилась аналогия между управлением движением в космическом пространстве, в атмосфере и под водой. Лабораторные работы проводились на стендах с элементами судовой и авиационной техники. Динамика систем исследовалась на аналоговых моделях, сопрягаемых с элементами реальной аппаратуры управления.

С развитием работ по теме «Лортодромия» тематика академических курсовых и дипломных проектов по подводной технике превращалась в реальную: «Система стабилизации курса НПА на базе авиационного полукомпас ГПК-52», «Эхолот в системе управления вертикальной координатой ПА», «Гиромагнитная система курсовой стабилизации ПА», «Система угловой стабилизации ПА на базе центральной гировертикали ЦГВ-62», «Аналоговая электронная модель динамики НПА», «Пульт управления привязным подводным аппаратом», «Цифровой автопилот ПА на базе ЦЭВМ «Электроника 60», «Следящая система управления телекамерой подводного аппарата» и многие другие.

НИР «Лортодромия» способствовала появлению в ДВПИ самой современной на то время отечественной электронной элементной базы, приборного оборудования, малых и мини-ЭВМ. Это существенно ускорило переход на новую элементную базу и в учебном процессе кафедр «Электроники», «КПР», «ГАиУЗТ», «ЭОС», «ЭПА», и в реальном курсовом и дипломном проектировании. В то же время, поскольку заказчик не допускал в то время использование зарубежных компонентов в спец. изделиях, доступ к международной элементной базе был затруднен.

Для разработки и эксплуатации подводных аппаратов требуются разносторонне подготовленные специалисты. Накопленный в ИПМТ и ДВГТУ опыт позволил приступить к созданию специальных образовательных программ в области подводной робототехники.

Организационные формы такой подготовки складывались постепенно. Вначале это были отдельные разделы, посвященные различным системам ПР в соответствующих традиционных дисциплинах различных специальностей. Позже для отдельных специальностей вводились элективные специальные дисциплины. Например, дисциплина – «Технические средства освоения океана (ТСОО)» содержала следующие основные разделы: «Гидростатика и элементы гидродинамики подводных аппаратов», «Конструктивные элементы ТСОО», «Электроэнергетические установки ТСОО», «Движительно-рулевые комплексы ТСОО», «Навигационные системы ТСОО», «Гидроакустическая аппаратура ТСОО», «Подводное телевидение и фото-киноаппаратура», «Системы управления движением НПА», «Системы телеметрической связи», «Исследовательское оборудование НПА». Программа курса предполагала, что первая половина учебного дня студентов отводится под теоретические занятия, а вторая – под практическую работу на базовой кафедре в ИПМТ ДВО РАН.

Лекции студентам ДВГТУ читали ведущие специалисты ИПМТ: академик РАН, д.т.н., профессор М.Д. Агеев; д.ф.-м.н., профессор Б.А. Касаткин, д.т.н. Л.В. Киселев, член-корр. РАН, д.т.н. А.Ф. Щербатюк, д.т.н. Ю.В. Матвиенко, зав. отделом опытно-конструкторских и экспериментальных работ Н.И. Рылов, к.т.н. В.В. Никифоров, к.т.н. А.В. Инзарцев, к.т.н. Ю.В. Ваулин, к.т.н. В.В. Золотарев, к.т.н. О.Ю. Львов и др.

Другой формой была специализированная подготовка студентов по индивидуальным планам для конкретных организаций, занимающихся разработкой или эксплуатацией буксируемых, телеуправляемых привязных или автономных подводных аппаратов (ИПМТ, ИАПУ, Дальморгео, КБ «Дальнее» и др.).

Студенты, обучающиеся по такой программе, принимали участие в работе научных конференций и симпозиумов, в том числе и международных. Большим успехом можно считать победы наших студентов на Международных конкурсах в 1993, 1994, 2005, 2010 гг. Так, на 8-м симпозиуме по подводной робототехнике, проводившемся в США, работа студентки Коваль Е.В. получила первую премию. А на конференции «Ocean'94» – (Франция)

доклад «Система автоматической стабилизации подводного манипуляционного робота» был в числе лучших на студенческом конкурсе. В 2010 г. команда ИПМТ, состоящая из студентов ДВГТУ и ДВГУ, заняла первое место в международных соревнованиях МАТЕ, проводившихся в США на Гавайях.

Вторую половину учебного времени студенты проводили в стенах ИПМТ, где под руководством разработчиков участвовали в процессе создания экспериментальных образцов НПА. На реальных образцах приборов и систем АНПА и на специализированных стендах проводились лабораторные работы и практические занятия. Студенты имели возможность пользоваться уникальной библиотекой ИПМТ, специальной документацией и современной вычислительной техникой, которая в вузах в те времена была в большом дефиците. Реальные темы курсовых и дипломных проектов определялись этим студентам сотрудниками ИПМТ по конкретным узлам и системам АНПА с учетом будущего распределения для работы у заказчиков.

Различным системам и приборам подводных роботов посвящались темы инженерных дипломных проектов. Например: «Подводный металлоискатель для НПА», «Проектирование векторного магнитометра для ПА», «Разработка тонкопленочного ферромагнитного датчика», «Дизайн переносного пульта связи и управления ПР», «Аварийная система автономного необитаемого ПА «МТ-92», «Накопитель информации блока навигационной системы автономного необитаемого аппарата», «База данных интегрированной системы хранения информации АНПА», «Отображение данных в среде интегрированной системы хранения информации АНПА», «Тестирование заданий для АНПА в среде интегрированной системы хранения информации» и др.

Трудности «перестроечного» периода не позволили осуществить все задуманное в полной мере. Однако опыт такой индивидуальной целевой подготовки специалистов в области новой техники, хотя и весьма трудоемкой, несомненно, перспективен и заслуживает всемерного развития. Следует заметить, что специализированная подготовка первой группы инженеров в области подводной робототехники осуществлялась практически на общественных началах, в основном на энтузиазме сотрудников ИПМТ и преподавателей ДВПИ. При наличии у заказчика соответствующих финансовых возможностей он может получать новую технику в комплекте с квалифицированным персоналом.

Специализированная подготовка студентов в области подводной робототехники проводилась и в рамках общероссийской программы «интеграции» вузов и подразделений РАН. В ИПМТ организованы базовые для ДВГТУ филиалы кафедр морских технологий, конструирования и производства морских радиоэлектронных средств, гидроакустики. Кроме того, в ДВГТУ на ряде кафедр открыты программы подготовки магистров в области океанотехники, морских технологий, подводной робототехники, гидроакустических систем. В этой связи представляет определенный интерес и открытие в ДВГТУ магистратур по морской геологии, морским геофизическим исследованиям, разработке морских месторождений полезных ископаемых, гидротехническим сооружениям и сооружениям водных путей. В перспективе в рамках этих магистерских программ можно было бы готовить потенциальных заказчиков, молодых специалистов, способных воспринять широкие возможности подводной робототехники для их областей инженерной деятельности.

С 1997 г. в рамках программы интеграции вузов и подразделений РАН при кафедре КТР ДВГТУ начата подготовка магистров по специальности «Проектирование и технология электронных средств специального назначения» (электронных средств подводных роботов).

По подводно-технической тематике, связанной с подводными роботами, защищено более 350 дипломных проектов, 15 магистерских, 22 кандидатские и 11 докторских диссертаций. Таким образом, можно утверждать, что в Дальневосточном регионе создается система подготовки инженерных и научных кадров в области подводной робототехники.