

Подводная робототехника: от идеи до ее реализации

При разработке современной подводной робототехнической системы (РТС) на первый план выходят вопросы, касающиеся целесообразности ее применения и дальнейшего развития. Возможность реализации новых идей в современной подводной робототехнике связывают с использованием мехатронных технологий, высокопроизводительных вычислительных систем и микросистемной техники, включенных в Перечень критических технологий на период до 2010 г. в России.

Н.В. Захаров, Старший научный сотрудник, доцент
В.А. Капустин Научный сотрудник (ЦНИИ РТК)

Сегодня у специалистов в области подводной робототехники возникают примерно те же трудности, что и 30 лет назад у разработчиков ЭВМ. Из-за отсутствия общих стандартов и платформ создателям роботов приходится начинать разработку каждого нового творения практически с нуля. Обучение роботов восприятию происходящего и принятию соответствующих решений, снижение стоимости вычислительной мощности и датчиков вызывает определенные сложности. В первую очередь, они связаны с тем, что изобретатели роботов не имеют возможности использовать стандартизированные средства разработки, ориентированные на создание программного обеспечения и формирование технических обликов различных типов роботов. В процессе создания образцов интеллектуальной робототехники традиционные подходы, используемые при разработке промышленных роботов, чаще всего не находят широкого применения. Это связано с тем, что интеллектуальным роботам приходится функционировать в условиях неопределенной окружающей среды и выполнять задачи, постановка которых может сводиться к общим формулировкам, таким как: «Найти и обезвредить», «Доставить и установить» и др. В этом случае при принятии технических решений важно учитывать особенности подводной среды, которые накладывают определенные ограничения на использование в роботах сенсорных, двигательных-двигательных, информационно-управляющих и энергетических систем.

Интересно проследить этапы создания современных интеллектуальных подводных РТС от возникновения идеи до ее реализации, ориентируясь при этом на особенности среды их функционирования. Авторы статьи не претендуют на всеобъемлющий охват научно-технических проблем, отражающих создание интеллектуальных подводных РТС, а лишь выделяют основные вопросы, возникающие в процессе их разработки.

Создание подводной РТС – это сложный процесс, связанный с определением количественных оценок характеристик, рассматриваемых при принятии технических решений на различных этапах развития системы в заданном диапазоне условий ее непосредственного применения. Период от появления идеи о создании

системы до момента окончания непосредственного ее использования, когда она прекращает свое функционирование, чаще всего представляют в виде жизненного цикла, который можно условно разделить на следующие этапы:

- формирование облика системы;
- проектирование элементов;
- изготовление элементов;
- эксплуатация системы;
- непосредственное применение.

Начальный этап создания подводной РТС – формирование облика системы. Принятие технических решений на данном этапе основывается на проведении сравнительного анализа характеристик вариантов, который в большинстве случаев ограничивается индикаторами «лучше-хуже». Результат проводимого сравнения зависит от набора рассматриваемых характеристик и используемых методов сравнения.

В работе* предлагается структурно-функциональный подход к классификации робототехнических систем различного назначения. При этом вся совокупность РТС представляется трехмерным пространством с функциональной, размерной и конструктивно-технологической осями. Конкретный образец РТС представляется областью в этом пространстве, а его классификационные признаки рассматриваются как проекции на соответствующие оси (**рис. 1**).

На этапе формирования облика робототехнической системы приведенный подход дает возможность систематизировать и структурировать информационные данные из разных источников, провести сравнительный анализ характеристик рассматриваемых вариантов компоновки роботов и сделать предварительную оценку эффективности их применения.

Предложенная последовательность классификации построена по принципу виртуального «конструктора». Она позволяет классифицировать существующие и перспективные робототехнические системы, а также прогнозировать появление новых РТС. В качестве примера приведем схему, которая иллюстрирует результаты предварительного математического моделирования тактико-технических, массогабаритных, гидродинамических, гидростатических, конструктивных и технологических характеристик подводных МРС (**рис. 2**). По-

лученные количественные и качественные показатели используются на ранних стадиях проектирования.

На этапе проектирования подводной РТС требуется более детальная оценка эффективности создаваемой системы. Обоснование эффективности применения новой интеллектуальной РТС является трудоемкой задачей. Сложность выбора одного варианта из значительного количества конкурирующих решений требует проведения тщательного анализа набора моделей и каждой из них в отдельности, а также определения технических ограничений и выбора основных характеристик. В связи с этим необходимо разрабатывать оптимизационные модели, решая задачу в виде многоуровневой иерархической системы. В такой системе на верхнем уровне должен быть использован основной критерий (целевая функция), а на всех последующих уровнях вместо основного критерия могут использоваться локальные критерии, не противоречащие основному. Для проведения сравнительного анализа подводных РТС необходим набор показателей качества и критериев эффективности. В этом случае выбор оптимального варианта может быть осуществлен только на основе векторного (комплексного) критерия эффективности вида:

$$\mathcal{E}^* = \mathcal{E}(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5)$$
, где A_1 – комплексный критерий технической эффективности; A_2 – комплексный критерий надежности; A_3 – комплексный критерий экономической эффективности; A_4, A_5 – комплексные критерии экологической и эргатической эффективности.

Комплексный критерий оценки эффективности является инструментом для определения количественных оценок характеристик, рассматриваемых в ходе принятия технического решения при проектировании подводной РТС в заданном диапазоне условий ее непосредственного применения (**рис. 3**).

Следующим шагом проектирования подводного робота является формирование его электронной модели. Такую модель условно можно поделить на четыре составляющие: математическую, конструкторскую, технологическую и функциональную.

Функциональная часть электронной модели рассматривается как приоритетная по отношению к другим ее составляющим. Описание функциональных моделей принято представлять в виде диаграмм, исходной из которых является контекстная диаграмма исследуемого процесса разработки подводного робота. Под процессами в функциональных моделях принято понимать процедуры моделирования, конструирования, технологической подготовки производства, изготовления и эксплуатации сложных технических систем. Целью детального описания соответствующих процессов является их экспертный анализ для выявления слабых звеньев в существующих организационно-технических структурах. Процесс взаимодействия между экспертом и разработчиком функциональной модели является итерационным и завершается при достижении консенсуса между ними в процессе совершенствования модели. Конечной целью

* Бурдаков С.Ф., Кириченко В.В., Коротынский А.В., Смольников Б.А., Чистяков В.М. Классификация зарубежных мини- и микроробототехнических систем военного назначения на основе структурно-функционального подхода // Микросистемная техника. 2005. №4.

Рис. 1. Структурно-функциональный подход к классификации РТС

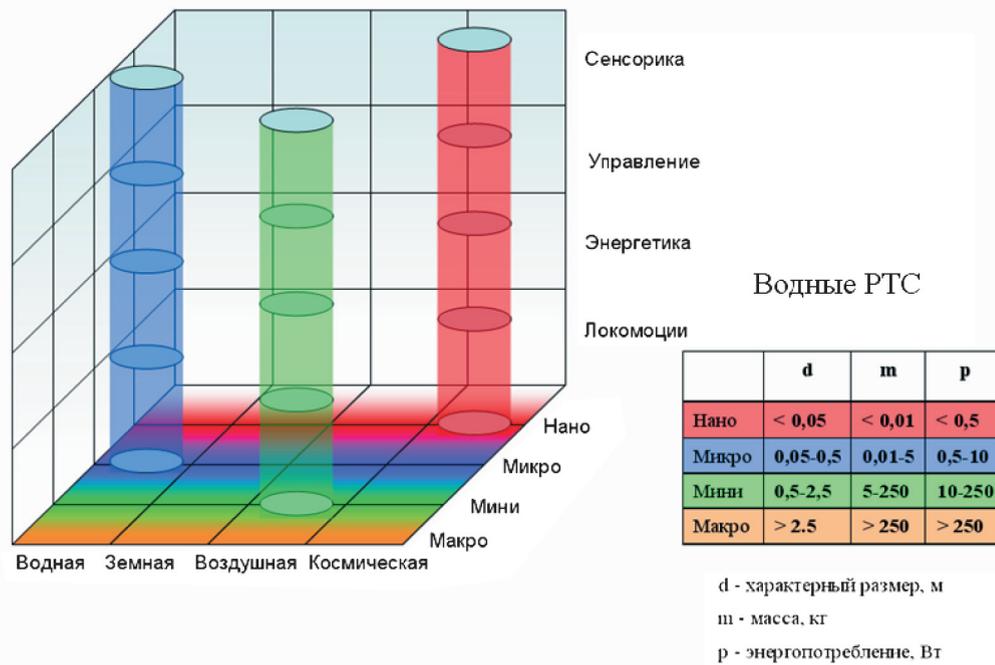


Рис. 2. Технический облик подводной МРС

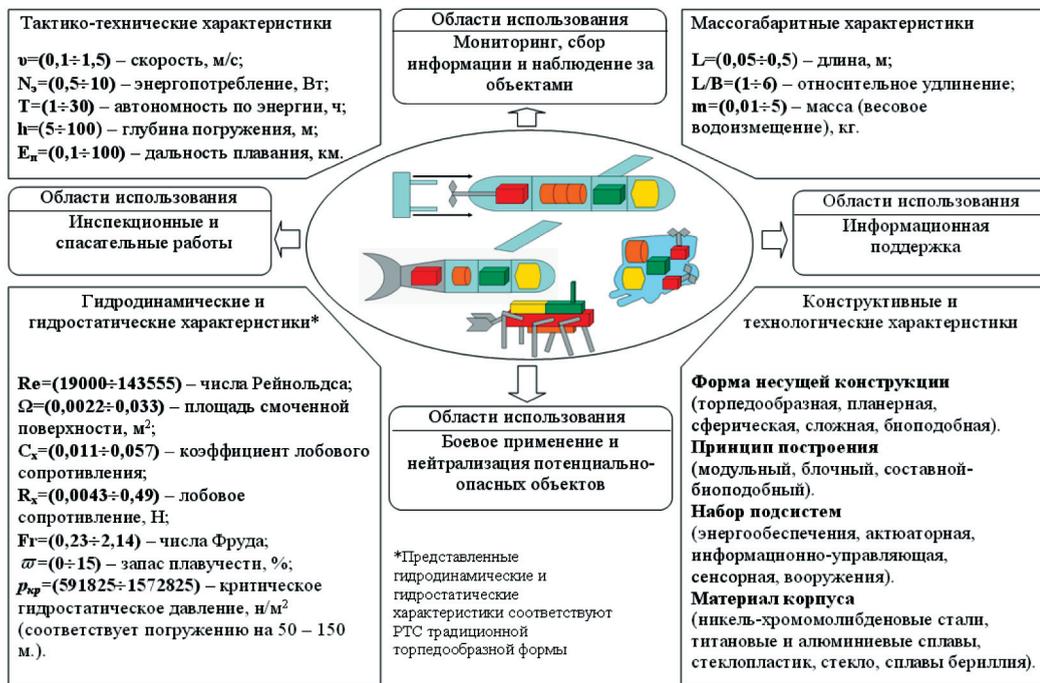
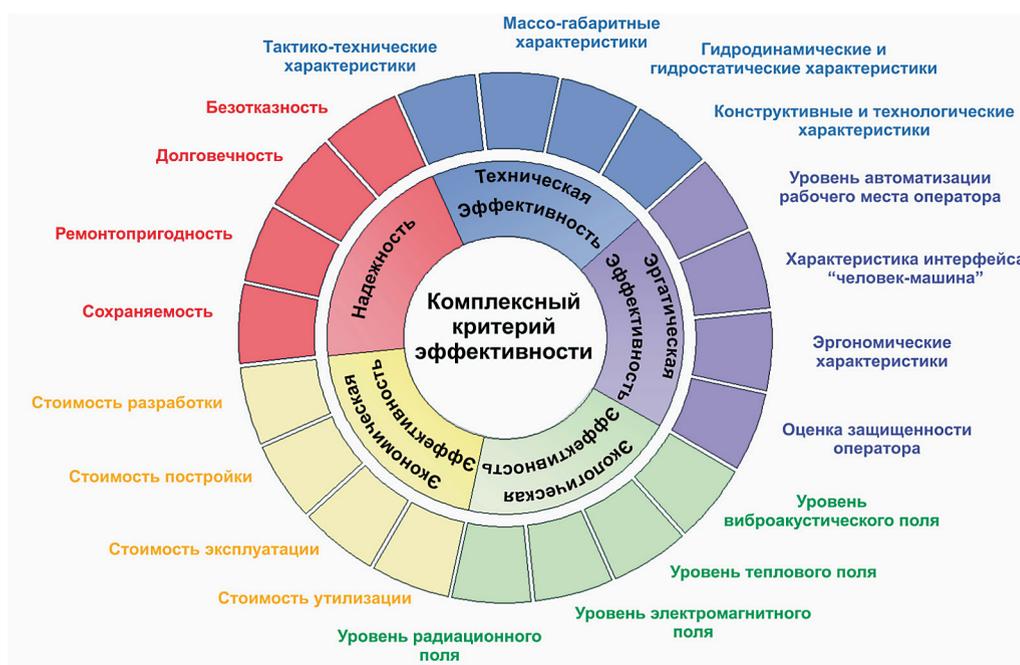


Рис. 3. Комплексный критерий оценки эффективности подводных РТС



функционального моделирования является создание такого варианта исследуемого процесса, который обеспечивал бы его реальную реализацию за минимальное время или с минимальными затратами.

Математическая составляющая электронной модели робота используется для исследования динамических свойств объектов управления и может служить составной частью CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) технологии, которая представляет собой идеологию создания единой информационной среды для процессов проектирования, производства, испытаний, поставки и эксплуатации продукции. Пример совместного использования технологий включает различные системы, такие как среда PDM STEP Suite (управление инженерными данными) и систему моделирования Simulink (пакет Matlab).

В конструкторской модели робота для описания объекта управления используется большое разнообразие систем автоматизированного проектирования CAD (Computer-Aided Design). Это порождает ряд проблем, прежде всего относящихся к вопросам согласования различных стандартов, применяемых при разработке конструкторской документации.

Технологическая модель робота является органическим продолжением конструкторской модели. При этом используются собственные средства автоматизации технологической подготовки производства, основной задачей которых является обеспечение высокого качества продукции. Созданные в CAD-системах трехмерные модели используются в CAM-системах (Computer-Aided Manufacturing) – системах технологической подготовки производства. Такие системы предназначены для проектирования обработки изделий с использованием станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Таким образом, использование технологий информационной поддержки изделия, ядром которых является система управления инженерными данными об объекте разработки (PDM система), позволяет организовывать процесс проектирования подводной РТС в поставленные сроки разработки, обеспечивая при этом высокое качество результатов работы.

Перспективы развития подводных РТС зависят от решения ряда теоретических и технических проблем. В первую очередь они связаны с созданием искусственного интеллекта, необходимого для обеспечения маневрирования робота, выполнения океанологических исследований и подводных работ, на базе новейших достижений мехатронных технологий, вычислительной и микросистемной техники. Безусловно, общие методы теории проектирования подводных аппаратов распространяются и на подводные РТС всех типов, но в тоже время особенности назначения и методы эксплуатации подводных роботов требуют создания специальных методик и порядка проектирования. Это относится как к любой из подсистем робота, так и подводной РТС в целом.

Современные задачи исследования и освоения мирового океана предъявляют все более сложные требования к подводным РТС, а следовательно по мере расширения сфер применения роботов будут пересматриваться представления о перспективных направлениях их дальнейшего развития. **MS**