

УДК 004.896+629.58+001.891.57

# АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ТЯЖЕЛОГО КЛАССА

**В.С. Быкова**

*АО «Концерн «ЦНИИ "Электроприбор»*  
Россия, 117997, г. Санкт-Петербург, Малая Пасадская ул., 30  
E-mail: zvs.2011@yandex.ru

**А.И. Машошин**

*АО «Концерн «ЦНИИ "Электроприбор»*  
Россия, 117997, г. Санкт-Петербург, Малая Пасадская ул., 30  
E-mail aimashoshin@mail.ru

**Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, информационная система управления, алгоритмы управления.

**Аннотация:** В работе представлена алгоритмическая структура информационно-управляющей системы (ИУС) автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) тяжелого класса, отличающегося своей многофункциональностью. На ИУС возлагается обеспечение выполнения маршрутного задания (МЗ) в условиях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. Ввиду большого количества решаемых АНПА сложных задач ИУС должна обладать высокой надёжностью, для обеспечения которой ИУС должна иметь простую и понятную структуру. В работе описаны составные части такой структуры и их взаимодействие.

## 1. Введение

В последние годы в мире активно ведутся разработки АНПА двойного назначения с упором на создание АНПА тяжёлого класса. Считается, что эти аппараты должны решать широкий спектр задач, которые сейчас выполняются подводными лодками [1-3]. Одной из главных проблем при создании подобных АНПА является разработка эффективной и надёжной ИУС, способной в автоматическом режиме обеспечить выполнение поставленного маршрутного задания. ИУС должна адаптироваться к складывающейся ситуации, на которую оказывают влияние разнообразные внешние и внутренние дестабилизирующие факторы. Чтобы достичь этого ИУС АНПА должна иметь простую структуру, способную адаптироваться к изменению обстановки. В настоящее время разработано большое количество архитектур ИУС для АНПА различного назначения [4-6]. Целью доклада является краткое описание основных компонентов структуры ИУС для АНПА тяжелого класса, разработанной авторами.

## 2. Алгоритмическая структура системы управления АНПА

### 2.1. Описание маршрутного задания

Основной целью функционирования ИУС является выполнение маршрутного задания, подготовленного и загруженного в ИУС оператором [7]. Маршрутное задание (МЗ) состоит из списка целевых задач АНПА, общих параметров маршрутного задания и информации о географическом, навигационно-гидрографическом и гидрометеорологическом описании района планируемого маршрута АНПА (границы береговой черты, глубины, параметры течений, гидроакустические условия, перечень доступных средств навигации). Как правило, в списке целевых задач АНПА содержатся следующие задачи:

- переход в заданную точку. Эта задача описывается целевыми параметрами движения АНПА (целевые скорость, глубина, координаты). В описание этой задачи при необходимости могут быть включены события, которые АНПА должен на нем выполнить, например, обсервация различными способами, прием/передача сообщений по радио/гидроакустическому каналу, включение/выключение тех или иных технических средств АНПА;
- выполнение задачи в назначенном районе. Задача описывается параметрами, характеризующими поведение АНПА при выполнении целевого задания в назначенном районе. Поскольку набор таких заданий, как правило, ограничен, используется одно из типовых описаний с возможностью его корректуры при необходимости.

К общим параметрам маршрутного задания относятся

- таблица констант, обеспечивающих работу алгоритмов управления (допустимая глубина погружения, максимально допустимая скорость хода, оптимальное отстояние от дна при поиске донных объектов с помощью разных средств, максимально допустимое время выполнения каждого действия и т.п.). Всего несколько десятков констант;
- график планового расхода электроэнергии при движении АНПА по заданному маршруту;
- таблица возможных неисправностей систем АНПА и действий, которые необходимо предпринять при возникновении этих неисправностей.

Задачи, указанные в МЗ, выполняются поочередно, в порядке их записи. Миссия считается законченной после исчерпания загруженного списка задач в МЗ. Логика выполнения миссии тесно связана с алгоритмической структурой ИУС, описанной в следующем пункте доклада.

## 2.2. Описание алгоритмической структуры ИУС

АНПА тяжёлого класса состоит из радиоэлектронных (навигации, связи, освещения обстановки, технического зрения) и технических (генерации и распределения электроэнергии, движения, аварийной сигнализации, полезной нагрузки) систем и ИУС, реализуемой программным комплексом управления (ПКУ). Управление АНПА строится по мультиагентному принципу, что означает, что каждая система АНПА является интеллектуальным агентом со своей системой управления, а ИУС является координатором, обеспечивающим взаимодействие систем АНПА в интересах выполнения МЗ.

В основу алгоритмической структуры ИУС, заложены перечисленные ниже алгоритмические решения.

**Решение 1.** Для упрощения алгоритмов, реализуемых ИУС, все системы АНПА поделены на радиоэлектронные и технические. Радиоэлектронными системами ИУС управляет напрямую, а техническими (в том числе движительно-рулевым комплексом) – через систему управления техническими средствами (СУТС).

**Решение 2.** В процессе выполнения миссии АНПА может находиться в одном из следующих состояний:

- движения и выполнения функций в режиме телеуправления, в котором функции ИУС ограничены трансляцией в системы АНПА команд, поступивших по радио/гидроакустическому каналу связи с пункта управления, расположенного на берегу либо на судне сопровождения. Режим телеуправления в АНПА тяжёлого класса предназначен для управления его движением на стадии подводки АНПА к судну-носителю для поднятия его на борт, а также для решения других аналогичных задач;
- аварийного прекращения миссии, обусловленного выходом из строя систем АНПА либо преждевременным израсходованием запаса электроэнергии, а также получением соответствующей команды с пункта управления;
- расхождения с обнаруженным подвижным подводным/надводным объектом;
- обхода обнаруженного неподвижного препятствия;
- выполнения специальной программы в назначенном районе, например: ведение гидроакустической и радиотехнической разведки; поиск назначенного донного объекта с установкой на него полезной нагрузки;
- выполнения обсервации одним из следующих способов: по сигналам спутниковой навигационной либо радионавигационной системы, региональной гидроакустической навигационной системы, донных и корабельных маяков-ответчиков, а также по подводным пассивным ориентирам, естественным геофизическим полям – батиметрическому, магнитному, гравитационному;
- выполнения сеанса радиосвязи;
- движения по маршруту в соответствии с маршрутным заданием.

**Решение 3.** Каждому состоянию АНПА присваивается свой приоритет. Состояния АНПА приведены в порядке убывания их приоритета. Если при нахождении АНПА в определенном состоянии возникают условия для перехода в состояние с более высоким приоритетом, то этот переход осуществляется незамедлительно, до нормального выхода из текущего состояния. Если же возникают условия для перехода в состояние с более низким приоритетом, он откладывается и осуществляется только после нормального выхода из текущего состояния. Данный подход значительно упрощает структуру ИУС и реализуемые им алгоритмы.

**Решение 4.** Каждое состояние АНПА обслуживается отдельным алгоритмом управления, реализованным в виде независимого асинхронно функционирующего программного модуля. Алгоритм определяет целевую функцию управления и состав систем АНПА, участвующий в принятии решения.

Кроме названных, ИУС реализует ряд дополнительных постоянно функционирующих алгоритмов, в частности:

- управление освещением подводной и надводной обстановки в интересах своевременного обнаружения опасных ситуаций столкновения с неподвижными препятствиями и подвижными объектами;
- контроль расходования запаса электроэнергии;
- контроль работоспособности радиоэлектронных и технических средств АНПА.

Такая декомпозиция также позволяет упростить алгоритмы работы ИУС. Схематичное представление алгоритмической структуры ИУС приведено на рис. 1.

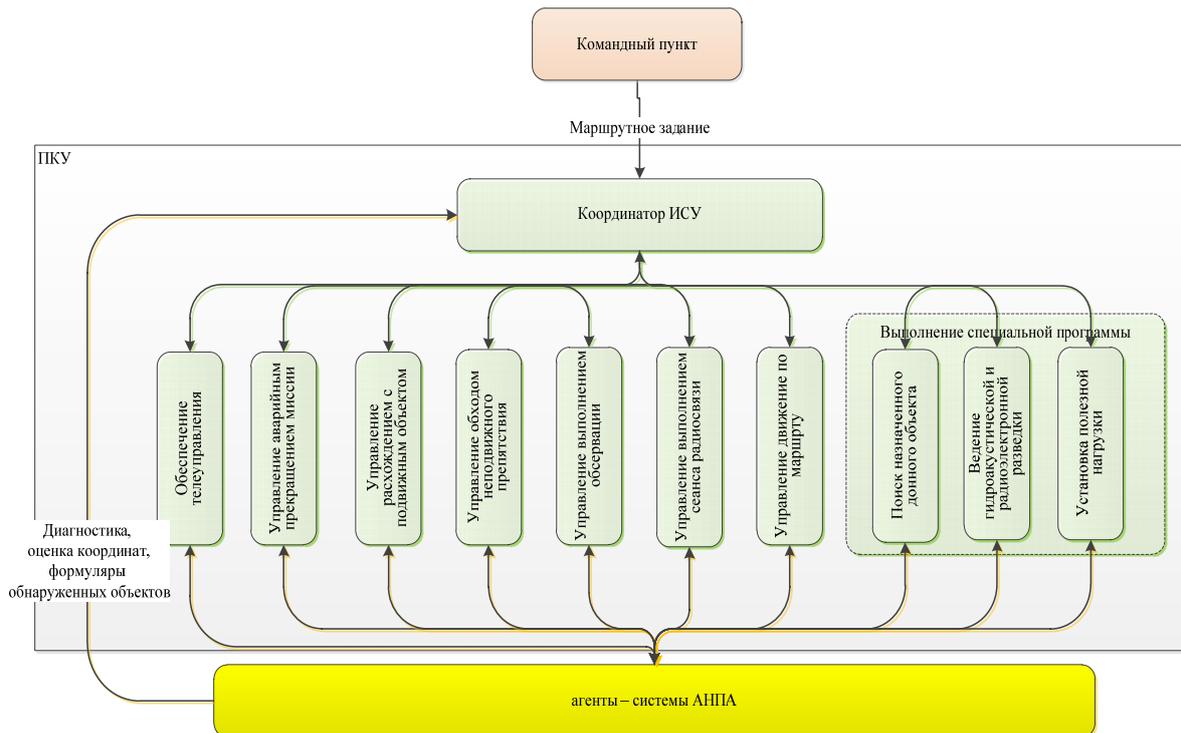


Рис. 1. Алгоритмическая структура ИУС.

ИУС включает координатора и набор алгоритмов, управляющих АНПА в каждом его состоянии.

Координатор на основе анализа маршрутного задания и данных, поступающих от систем АНПА, определяет текущее состояние АНПА и передаёт управление соответствующему алгоритму управления, а затем, получая от него регулярные сообщения, с учётом данных, поступающих от систем АНПА, проверяет, нет ли необходимости передать управление АНПА другому алгоритму.

При движении по маршруту координатор постоянно анализирует сообщения от навигационной системы о величине расчётной круговой ошибки текущего места АНПА, от системы освещения обстановки об обнаруженных целях, от СУТС об оставшемся запасе электроэнергии, от всех систем АНПА об их техническом состоянии. По результатам анализа поступивших данных координатор принимает управленческие решения.

### 3. Заключение

Развитие АНПА тяжёлого класса идёт по пути увеличения их функциональных возможностей. Применение таких аппаратов невозможно без наличия надёжной информационно-управляющей системы, способной управлять в реальном времени разнородными бортовыми техническими средствами и самостоятельно принимать решения без связи с человеком-оператором. Описанная в работе алгоритмическая структура ИУС позволяет решить весь спектр стоящих перед ней задач, а сама архитектура обладает потенциалом по модификации и наращиваемости системы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-29-00803)

### Список литературы

1. Боженков Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2011. Т. 4, №1. С. 4-68.
2. Илларионов Г.Ю. Базирование необитаемых подводных аппаратов на подводных носителях // *Подводные исследования и робототехника*. 2007. № 1.
3. Илларионов Г.Ю. Некоторые аспекты военного применения подводных роботов за рубежом // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2012. № 3.
4. Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. Система управления АНПА большой автономности на базе мультиагентного подхода // *Подводные исследования и робототехника*. 2019. № 2 (28). С. 23-31.
5. Kim T.W., Yuh J. Development of a real-time control architecture for a semiautonomous underwater vehicle for intervention missions // *Autonomous Systems Laboratory. Department of Mechanical Engineering. University of Hawaii*, 2003. P. 1521-1530.
6. Huxley G.D. A Flexible Robot Control Architecture for Autonomous Underwater Vehicles // *IEEE OCEANS 2011. Santander, Spain*, DOI: 10.1109/Oceans-Spain.2011.6003512.
7. Инзарцев А.В., Багницкий А.В.. Планирование и реализация траекторий движения автономного подводного робота при выполнении мониторинга в акваториях различного типа // *Подводные исследования и робототехника*. 2016, № 2 (22). С. 25-35