

УДК 551.46.07

Информационно-управляющая система телеуправляемого подводного аппарата рабочего класса

Иноземцев В.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

Научный руководитель: Егоров С.А., к.т.н., доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Информационно-управляющая система (ИУС) представляет собой набор всего необходимого оборудования (датчики, вычислители, периферийные платы и пр.) и программного обеспечения для формирования управляющих сигналов на движительно-рулевой комплекс и выдачу требуемой информации о состоянии и параметрах движения аппарата на пульт оператора. Основой ИУС являются алгоритмы системы управления (СУ). Прочие аппаратно-программные компоненты ИУС служат для обеспечения работы СУ. 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. Рассматриваемый в данной статье ТПА рабочего класса, созданный в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, имеет 6 независимых управляемых координат: курс, крен, дифферент, марш, лаг, глубина. У аппарата отсутствуют программные режимы работы, такие как движение по траектории или выход в точку, поэтому система управления ТПА содержит только локальные контуры управления – курса, крена, дифферента, глубины, отстояния от дна, марша и лага.

На рис. 1 показана структурная схема ИУС ТПА. Стрелками показаны соединения между ее компонентами.

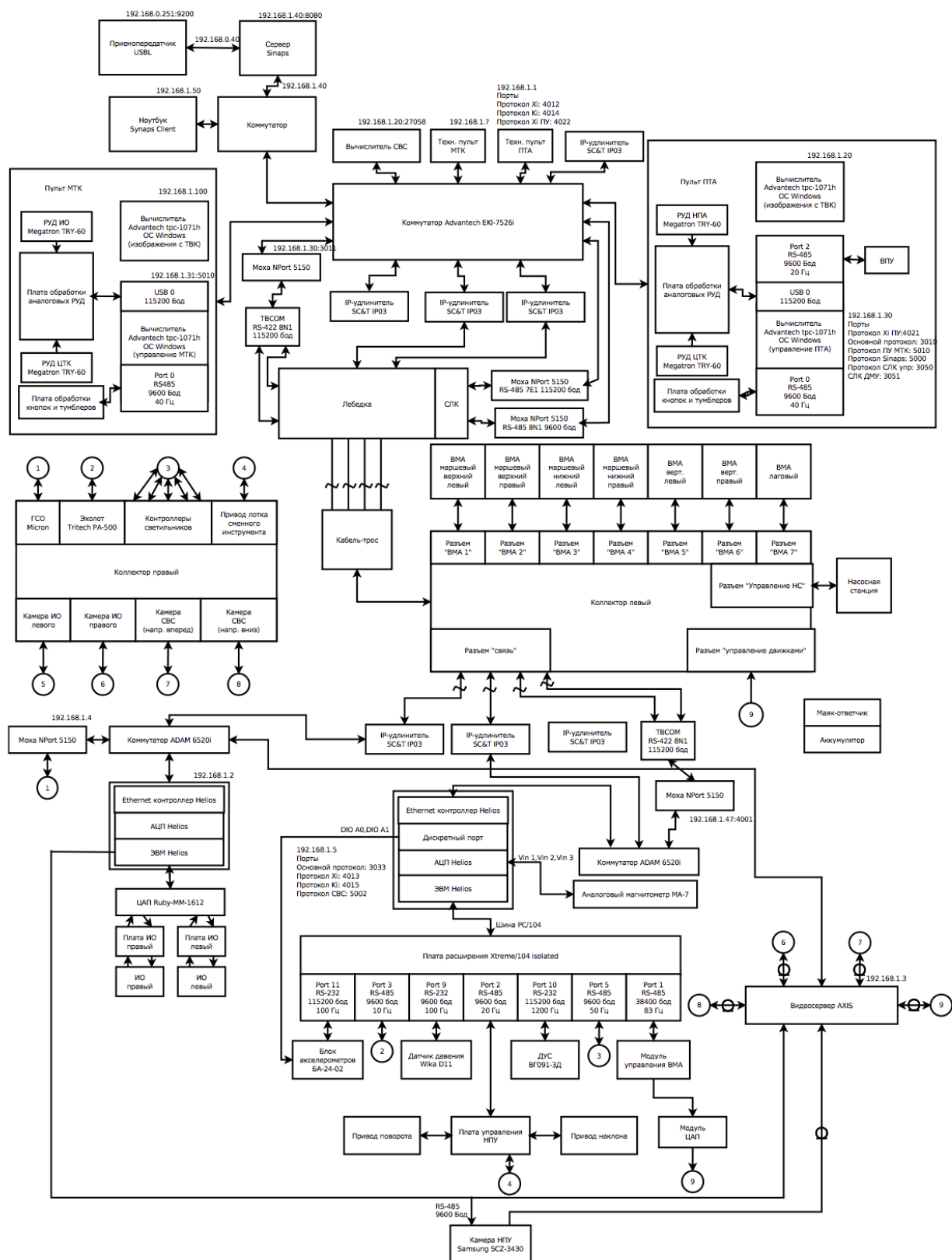


Рис. 1. Структурная схема ИУС ТПА

Условно ИУС ТПА можно разделить на пультовую и бортовую части [1,2]. Основной бортовой части ИУС являются алгоритмы системы управления, которые на

основе показаний датчиков и команд оператора формируют задающие сигналы на движительно-рулевой комплекс (ДРК). Остальные подсистемы бортовой части ИУС являются служебными и необходимы для нормальной работы СУ ТПА.

Работа системы управления основана на показаниях позиционных датчиков и производных соответствующих координат. Всю необходимую информацию о параметрах движения для системы управления формирует информационно-измерительный комплекс (ИИК), состоящий из аппаратной (набор измерителей) и программной частей. С учетом требований к точности СУ, информационно-измерительный комплекс включает в себя следующие измерители:

- триада акселерометров БА-24 производства ОАО «Темп-Авиа»;
- триада датчиков угловых скоростей (ДУС) на основе волоконно-оптических гироскопов ВГ091-3Д производства ЗАО НПП «Физоптика»;
- феррозондовый трехосный аналоговый магнитометр МА-7 производства ОАО «РПКБ»;
- датчик давления D-11 фирмы Wika;
- эхолот РА-500 фирмы Tritech;
- система видеостабилизации (СВС) разработки НИИСМ МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Магнитометр, триада акселерометров и триада ДУС объединяются в единую бесплатформенную систему ориентации (БСО), что позволяет уменьшить погрешности указанных датчиков и сформировать качественные сигналы обратных связей в контурах СУ.

Для получения скоростей по глубине и отстоянию от дна показания соответствующих датчиков дифференцируются после предварительной фильтрации. СВС, в свою очередь, не входит в состав бортовой ИУС и выполнена в виде отдельного вычислительного модуля, который передает данные о смещениях по основному каналу связи через пульт управления.

ТПА имеет следующие режимы управления: ручной, автоматизированный, режим динамического позиционирования (ДП). В ручном режиме контуры СУ работают в разомкнутом режиме. В автоматизированном режиме замыкаются контуры управления углами ориентации аппарата – контуры курса, крена, дифферента, а также контуры управления глубиной и отстоянием от дна. В режиме ДП дополнительно замыкаются контуры управления линейными координатами ТПА – контуры марша, лага. Сигналы обратной связи данных контуров формируются системой СВС.

В качестве вычислительной основы ИИК, на которой выполняются алгоритмы БСО и СУ, используется одноплатная x86-совместимая ЭВМ Helios фирмы Diamond systems формата PC/104. Данная ЭВМ удовлетворяет жестким требованиям по надежности, отказоустойчивости, вычислительной мощности, тепловыделению и потреблению электроэнергии.

Датчики системы управления и периферийные бортовые устройства используют последовательный интерфейс для подключения к вычислителю. Он имеет недостаточное количество последовательных портов, поэтому для обработки периферии используется плата расширения ConnectTech Xtreme/104 Isolated, содержащая 12 настраиваемых гальванически развязанных последовательных портов RS-232/RS-485/RS-422. Плата Xtreme/104 подключается к вычислителю по шине ISA.

Три измерительных канала аналогового магнитометра МА-7 подключены к АЦП вычислителя. Благодаря 16-битному разрешению АЦП оцифровка аналогового сигнала производится с высокой точностью, что обеспечивает требуемое разрешение входных данных для БСО.

Помимо указанных выше датчиков к плате Xtreme/104 подключены модуль управления винтомоторными агрегатами (ВМА), модуль управления приводом наклонно-поворотного устройства (НПУ) и модули управления бортовыми светильниками. Модули управления реализованы в виде микроконтроллеров, общение с которыми производится в режиме «Запрос-ответ» по протоколу RS-485. В качестве операционной системы бортового вычислителя используется QNX 6 Neutrino. Эта ОС имеет следующие особенности:

- поддержка реального времени, необходимая для работы бортовой ИУС;
- поддержка большинства современных встраиваемых систем;
- микроядерная архитектура, позволяющая включать только необходимые функции ОС;
- совместимость со стандартом POSIX, которая позволяет с минимальными затратами усилий и времени использовать уже имеющийся код, ранее написанный под Linux и наоборот;
- отказоустойчивость;
- поддержка удаленного управления по протоколу QNET. Протокол позволяет использовать удаленную файловую систему, а также удаленно запускать программы непосредственно на бортовом вычислителе.

Надежность операционной системы имеет существенное значение, поскольку бортовой вычислитель находится в прочном корпусе, что затрудняет доступ к нему.

Программное обеспечение (ПО) бортового вычислителя имеет многопоточную архитектуру [3], обладающую следующими преимуществами:

- надежность программы – при аварийном отключении одного из потоков программа в целом не теряет работоспособности;
- разделение логики программы – каждый поток предназначен для решения конкретной специфической задачи;
- повышение производительности программы за счет того, что потоками управляет операционная система.

На рис. 2 представлена структурная схема потоков бортового ПО.

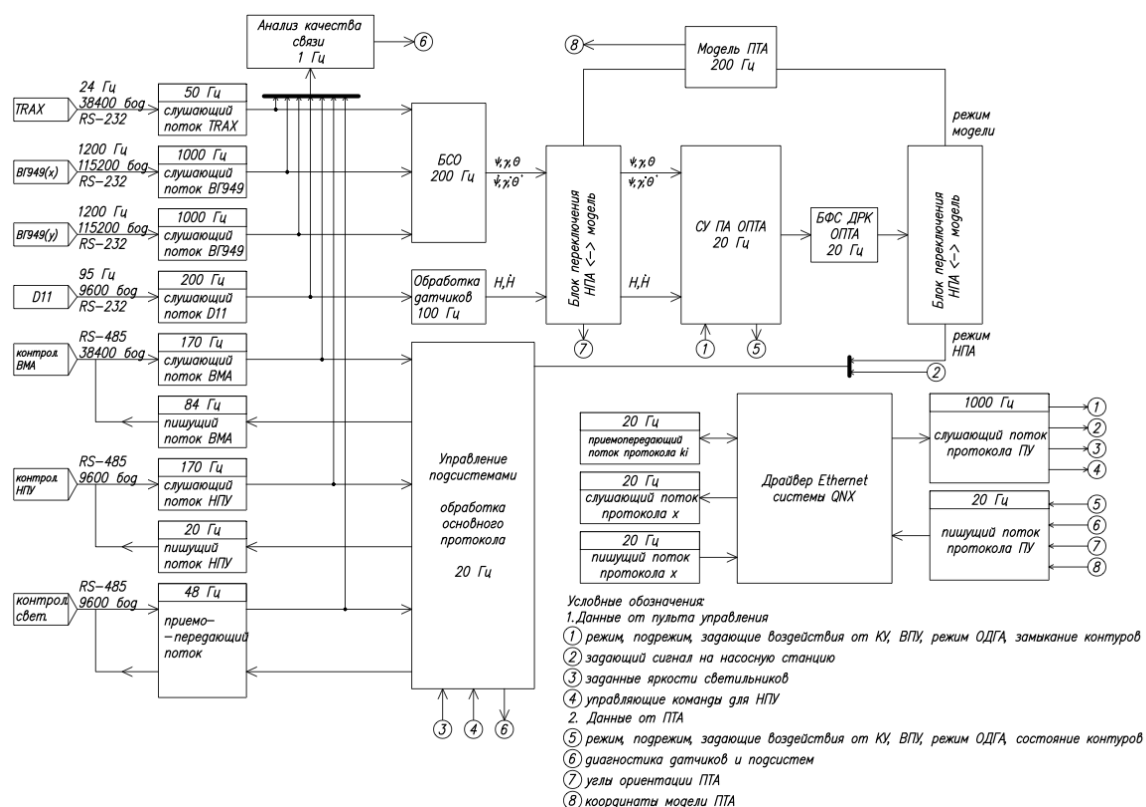


Рис. 2. Структурная схема программных потоков бортового ПО

Бортовая программа состоит из следующих потоков:

- основной поток СУ ТПА, который работает с частотой 200 Гц. С этой частотой исполняются алгоритмы БСО и модели (для предварительной отладки ПО ИУС). С использованием программного делителя, с частотой 100 Гц производится обработка показаний датчиков. С частотой 20 Гц в данном потоке выполняются алгоритмы СУ ТПА, формируются сигналы для движительно-рулевого комплекса, а также управляются подсистемы ТПА. При этом частота замыкания СУ ТПА выше частоты среза системы;

- поток центрального канала связи с пультом управления ТПА. Данный поток отвечает за обмен пакетами между ТПА и ПУ ТПА по сети Ethernet. Обмен пакетами производится в асинхронном режиме с частотой 20 Гц;

- потоки технологического канала связи. Данные потоки используются только на этапе отладки ТПА. Технологический канал связи предназначен для отслеживания в реальном времени переходных процессов СУ. Программа, использующая отладочный канал связи, запускается на технологической ЭВМ;

- приемопередающие потоки связи с датчиками и периферийными бортовыми устройствами, подключенными к последовательным портам. Данные потоки отвечают за опрос периферийных устройств и обработку принятых пакетов данных. Для каждого устройства предназначен свой независимый приемопередающий поток, реализующий связь с конкретным устройством по интерфейсу RS-232 или RS-485. 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.

Особенностью бортового программного обеспечения является возможность проведения полунатурных испытаний ИУС, которые подразумевают проверку ее работы в штатном режиме, однако показания бортовых датчиков ТПА заменяются величинами, рассчитанными при помощи математической модели ТПА, работающей в реальном времени. Работа модели основана на решении дифференциальных уравнений динамики аппарата методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Модель функционирует в основном потоке с частотой 200 Гц.

Важным компонентом пультовой ИУС является консоль управления (КУ) ТПА, которая включает в себя два пульта управления – пульт управления движением аппарата и пульт управления исполнительными органами аппарата. Для отладки ИУС использовался пульт управления движением аппарата.

Пульты управления имеют схожую конструкцию. В состав ПУ входят пультовой вычислитель и вычислитель телевизионной системы, рукоятка управления движением аппарата, рукоятка управления ориентацией носовой камеры, панель управления системами и подсистемами ТПА. Вычислители выполнены в виде моноблоков с сенсорными экранами. Оба пульта управления подключены к ИУС по сети Ethernet.

Пультовой вычислитель работает под управлением ОС Linux и предназначен для управления ТПА. Его ПО обеспечивает обработку управляющих органов ПУ и

графического интерфейса пультовой программы, а также производит обмен данными с ТПА по центральному каналу связи.

Вычислитель телевизионной системы предназначен для отображения сигнала с бортовых телекамер ТПА. Он работает под управлением ОС Windows, что вызвано необходимостью использования штатного ПО видеосервера, обрабатывающего сигнал с данных телекамер.

Внешний вид пульта управления показан на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид пульта управления

Отработка бортовой ИУС ТПА проводилась в несколько этапов. Первый этап заключался в отработке компонентов ИИК, для выполнения которой был собран испытательный стенд, содержащий основные компоненты бортовой ИУС: штатную стойку, включающую вычислитель, триаду акселерометров, триаду ДУС, трехосный магнитометр. На стенде была произведена калибровка указанных датчиков. Затем проводились работы по окончательной калибровке магнитометра в составе блока электроники. Внешний вид стенда представлен на рис. 4.

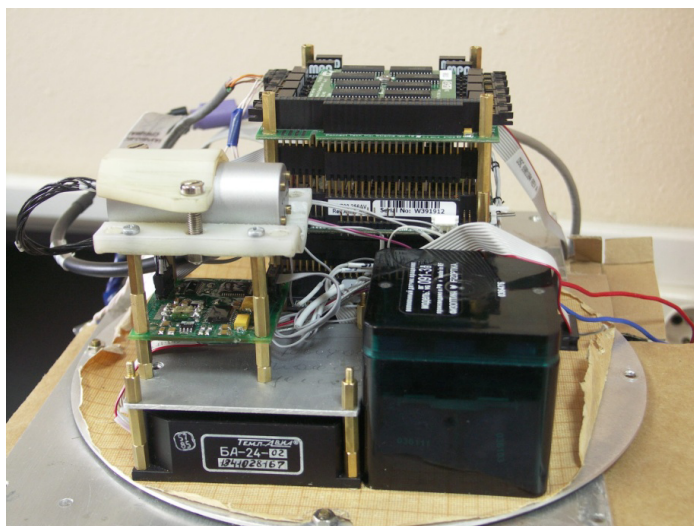


Рис. 4. Испытательный стенд для отработки компонентов ИИК

Следующий этап отработки ИУС включал в себя ее проверку с использованием модели ТПА. ИУС работала в штатном режиме, однако реальные показания датчиков ИИК заменялись данными с модели.

В качестве заключительного этапа отработки ИУС ТПА проводились испытания аппарата в бассейне. На данном этапе были проведены работы по окончательной настройке и доработке контуров системы управления, а также испытанию режимов и подрежимов ТПА в реальных условиях. При этом все подсистемы ТПА работали в штатном режиме, режим модели был отключен.

В настоящее время ТПА прошел испытания и сдан заказчику.

Список литературы

1. Молчанов А.В., Егоров С.А., Куценко А.С. Бортовая информационно-управляющая система телеуправляемого подводного аппарата // 7-ая научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления»: материалы. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. С. 33-37.
2. Черненко К.В., Молчанов А.В., Егоров С.А., Куценко А.С. Особенности построения информационно-управляющей системы телеуправляемого подводного аппарата // Вестник московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. Спец. вып. «Специальная робототехника и мехатроника». С. 65–74.
3. Куценко А.С., Егоров С.А., Молчанов А.В., Черненко К.В., Пелипенко И.И., Иноземцев В.В. Программный комплекс для управления телеуправляемым подводным аппаратом // XIII Международная научно-техническая конференция

«Современные методы и средства океанологических исследований»: материалы.
М.: Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2013. Т.2. С. 277-280.