УДК 551.46.07

УНИФИЦИРОВАННАЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ПРОФИЛИРУЮЩИХ АППАРАТОВ

О.Ю. Кочетов 1 , А.Г. Островский 1 , С.В. Волков 2 , В.М. Ольшанский 2

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН²

Представлены результаты разработки унифицированной аппаратно-программной платформы системы управления для линейки автономных подводных профилирующих аппаратов (АППА) различного типа — как свободно плавающих за счет изменения собственной плавучести, так и привязных, перемещающихся за счет работы электромеханических приводов. Аппаратная часть платформы представляет собой комплект электронных плат, на которых имеются 32-разрядный ARM-микроконтроллер и драйверы для работы с исполнительными механизмами, такими как двигатели постоянного тока, электромагнитные клапаны, гидро- и пневмонасосы. Контроллер также оснащен средствами навигации GLONASS/GPS и беспроводной связи GSM и WiFi. Программное обеспечение контроллера основано на модульном фреймворке в операционной системе реального времени. Фреймворк может быть расширен путем реализации функционала, специфичного для требуемой модификации и типа АППА. Прикладное программное обеспечение выполнено как кроссплатформенное приложение, также позволяющее расширять функционал по мере необходимости. На базе данной системы управления изготовлены опытные образцы АППА (зонд с управляемой плавучестью класса АРГО и подводный лебедочный зонд), а также прототип системы управления исполнительными механизмами глайдера, которые проходят испытания на черноморском полигоне Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития науки об океане остро стоит задача автоматизации океанологических измерений. Для вертикального профилирования водной толщи разрабатываются автономные беспилотные зонды-носители океанологических датчиков - как свободно перемещающиеся, так и привязные, некоторые из которых работают скрытно под водой, а другие имеют возможность подъема на поверхность для передачи данных измерений, определения своего географического положения и получения команд управления. В Институте океанологии РАН (ИО РАН) им. П.П. Ширшова разрабатывается несколько автономных подводных профилирующих аппаратов

(АППА). Интенсивно исследуются основные системы:

- движители с электроприводами, оснащенными магнитными муфтами, для перемещения глубоководных аппаратов по тросу;
- подводные лебедки для работ на морском шельфе, в водохранилищах и озерах;
- гидравлические системы погружения—всплытия для автономных аппаратов, работающих преимущественно в свободном плавании.

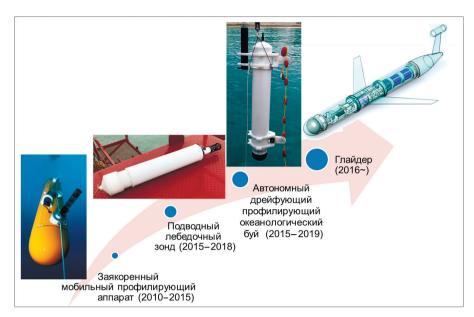
Примером разработки подобного зонда, доведенной до стадии мелкосерийного производства, является заякоренный мобильный профилирующий аппарат «Аквалог» (рис. 1) [1, 2]. С помощь аппаратов «Аквалог» проведены тонкоструктурные измерения вертикальных профилей ключевых

параметров морской среды в Балтийском, Карском, Красном, Средиземном, Черном и Японском морях, а также в Мертвом море. Причем в Черном и Балтийском морях уже на протяжении нескольких лет станции «Аквалог» работают на постоянной основе. Однако особенности конструкции аппарата «Аквалог» не позволяют осуществлять его выход на поверхность моря, что значительно осложняет оперативную связь с аппаратом.

АППА, которые в настоящее время разрабатываются в ИО РАН (рис. 1), создаются с учётом необ-

¹ 117997, Москва, Нахимовский просп., 36. Тел.: (499) 1246392, факс: (499) 1245983. E-mail: ok@noiselab.ru

² 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33. Тел.: (495) 9547553, факс: (495) 9545534. E-mail: vmolsh@yandex. ru



Puc. 1. Подводные роботизированные профилирующие аппараты ИО РАН (в скобках указаны сроки НИОКР)

ходимости оперативной передачи данных. При разработке особое внимание уделяется требованиям минимизации энергопотребления, долговечности и коррозионной стойкости. Для проведения измерений носители оснащаются стандартными датчиками ведущих мировых производителей, позволяющими получать данные о давлении, температуре и электропроводности воды, скорости течения, рассеянии звука, а также опционально о содержании растворенного кислорода, взмученности и флуоресценции хлорофилла-а. Опытные образцы АППА проходят испытания в северо-восточной части Черного моря на гидрофизическом полигоне ИО РАН, в акватории которого есть достаточно широкий шельф глубиной до 100 м, крутой континентальный склон и относительно ровная глубоководная (900–1100 м) площадка в открытой части моря.

Разрабатываемые АППА перемещаются с помощью подводной лебедки (подводный лебедочный зонд) и системы изменения собственной плавучести (дрейфующий профилирующий океанологичес-

кий буй и планирующий аппарат — глайдер).

Подводный лебедочный зонд [3] предназначен для работы на глубинах до 50–100 м в относительно спокойной воде с течениями до 0,5 м/с, профилирующий океанологический буй с управляемой плавучестью [4] в режиме свободного дрейфа может использоваться для зондирований до горизонта 1200 м, глайдер может применяться наиболее широко благодаря значительным возможностям маневрирования.

Эти три аппарата, разных по назначению и конструкции, тем не менее разрабатываются исходя из нескольких сходных технических требований: использования двигателей постоянного тока в качестве приводов исполнительных механизмов, применения сходного базового набора датчиков (например, датчика наружного давления), накопления собранных данных во встроенной энергонезависимой памяти, необходимости передавать данные с помощью беспроводных средств связи, использования планировщика для задания миссии и др. Это позволило сформулировать набор общих требований к системе управления АППА и реализовать его в виде единой аппаратно-программной платформы, обеспечивающей базовые функции управления всеми тремя типами профилирующих зондов и также позволяющей расширять функционал системы управления в соответствии с особенностями АППА каждого типа.

Аппаратная составляющая управляющей платформы представляет собой контроллер автономного подводного аппарата, унифицированный для обеспечения работы всей разрабатываемой линейки подводной робототехники. Контроллер обеспечивает работу аппарата как в автономном режиме по заданной программе, так и по командам внешнего информационно-навигационного модуля, если таковой имеется в составе подводного аппарата.

Программная составляющая системы управления включает модульный фреймворк, охватывающий весь спектр базовых функций и позволяющий расширять возможности управляющей системы путём встраивания дополнительного программного кода в составляющие его модули.

Кроме разработки программы управления, непосредственно исполняющейся в контроллере АППА, значительной по трудозатратам является также разработка прикладного программного обеспечения (ПО), служащего для взаимодействия с оператором прибора, позволяющего проводить диагностику аппарата, программирование миссии, извлечение данных из встроенной памяти контроллера и анализ этих данных. Чтобы облегчить повторное использование уже готового программного кода прикладного ПО, похожий модульный подход применен и для его разработки.

1. Контроллер автономного подводного профилирующего аппарата

Контроллер АППА состоит из трёх плат: платы драйверов, процессорной платы и платы внешних коммуникаций (рис. 2).

Комплект плат удобен для установки в прочном цилиндрическом корпусе внутренним диаметром 160 мм. Конструктивно платы соединяются друг с другом «этажеркой». Электрические соединения между платами обеспечиваются межплатными разъемами. Для прокладки проводов и кабелей в пределах окружности плат вырезаны монтажные отверстия. Каждая плата комплекта имеет единую схему посадочных отверстий для закрепления на шасси в корпусе аппарата. В комплекте с платами предлагается пластиковый защитный корпус для безопасного использования.

Плата драйверов (рис. 3) предназначена для управления двигателями постоянного тока в исполнительных устройствах (до 5 двигателей), например: мотором насоса высокого давления в системе изменения плавучести, мотором перистальтического насоса для перекачки жидкости между балластными цистернами в системе изменения дифферента, двигателем электромеханического привода перемещения по тросу, двигателем электропривода греб-

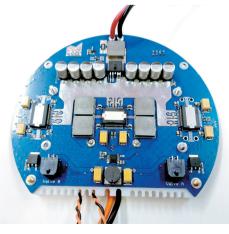
Рис. 2. Вид контроллера АППА в сборе

ного винта, двигателем лебедки, двигателем поворота груза в системе изменения крена и т.п.

В состав платы входят 3 двухканальных полных мостовых драйвера DRV8432, обеспечивающих сопряжение с процессорным блоком. Плата допускает подключение одного двигателя током до 12 А при напряжении питания до 25 В и до 4 двигателей (исполнительных механизмов) с током до 7 А при напряжении питания до 25 В. Драйвера обеспечивают защиту от короткого замыкания, от превышения предельного тока, от перегрева драйвера. Функция плавного пуска, управление скоростью вращения и направлением вращения двигателей обеспечиваются программно за счет формирования соответствующих управляющих ШИМ-сигналов.

Процессорная плата (рис. 4) выполнена на основе 32-разрядного ARM-микроконтроллера STM32F427ZGT6. Для точной оцифровки наиболее важных измеряемых величин, таких как наружное давление, в состав ПП включены три 24-разрядных АЦП AD7791BRMZ.

Остальные сенсоры с аналоговыми выходами, требующие оцифровки (датчики внутреннего давления, температуры двигателя,



Puc. 3. Плата драйверов со снятым радиатором

внутренней температуры, напряжения питания), оцифровываются встроенными АЦП микроконтроллера.

На плате размещен 9-осевой сенсор движения/положения MPU9250, совмещающий трехкоординатные акселерометр, магнитометр и гироскоп.

Для подключения дополнительных цифровых датчиков, например оптосенсора VL6180X, используемого в системе контроля перекачки балластной жидкости при изменении дифферента, магнитного датчика углового положения AS5048B-HTSP-500 AMS для измерения положения груза относительно станины в системе изменения крена, датчиков температуры и др., на плате размещены два разъёма портов I2C.

Для возможности динамически подключать или отключать отдельные элементы схемы в целях экономии электроэнергии применены драйверы на полевых транзисторах IRF7509.

Роль энергонезависимого накопителя данных выполняет карта FLASH-памяти формата MicroSD, установленная в соответствующий разъём.

Световая индикация режимов работы осуществляется с помощью 4 светодиодов, размещенных непосредственно на плате. Кроме этого есть возможность подключения до 3 внешних све-



Рис. 4. Процессорная плата

тодиодов для наружной световой индикации и двух магнитных датчиков (герконов, или датчиков Холла) для контроля узлов аппарата.

Связь с компьютером, необходимая для диагностики или программирования аппарата, осуществляется через последовательный порт UART, что позволяет реализовать как кабельное подключение через адаптер (USB–UART), так и беспроводное (Bluetooth).

Плата внешних коммуникаций (рис. 5) включает: навигационный приемник NV08C-CSM, поддерживающий стандарты ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, COMPASS, SBAS в диапазоне L1, GSM-модуль SL6087 и модуль



Puc. 5. Плата внешних коммуникаций

WF121 для WiFi-коммуникации. Для обеспечения бесперебойной работы навигационного и GSM приемников на ПВК предусмотрены 2 литиевые батареи формата CR3202, 3.3B. Подключение антенн осуществляется через установленные на плате разъёмы SMA.

2. Программное обеспечение системы управления АППА

Использование унифицированного контроллера для различных типов подводных аппаратов естественным образом приводит к решению об унификации ис-

полняемого на нем ПО. При проектировании встроенного ПО контроллера АППА базовый функционал профилирующих зондов был структурирован в отдельные модули таким образом, чтобы можно было применить единую архитектуру ПО на всех трёх типах АППА. Благодаря этому решению программный код, который реализует базовые функции профилирующего зонда и взаимосвязи между модулями, т.е. составляет основу встроенного программного обеспечения контроллера, используется на разнотипных АППА без какихлибо изменений.

Такой подход, называемый «фреймворком», позволяет сократить время, затрачиваемое на разработку управляющего ПО для новых типов и модификаций АППА, поскольку задачей разработчика становится только создание функционала, специфичного для конкретного типа зонда. Но еще более важным является использование во всех вариантах ПО единого, отлаженного и протестированного кода, а также простота применения улучшений, разработанных по мере развития проекта, сразу для всей линейки подводных аппаратов, что улучшает качество программного обеспечения.

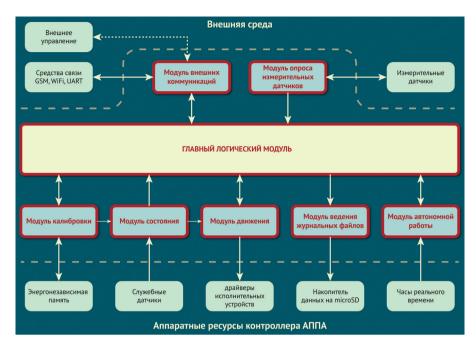
2.1. Фреймворк системы управления *АППА*

В качестве основы фреймворка выбрана операционная система реального времени (ОСРВ) FreeRTOS. Использование ОСРВ продиктовано в первую очередь необходимостью обеспечения надежного и предсказуемого разделения ресурсов процессора между отдельными модулями, работающими в режиме многозадачности. Взаимодействие с периферией микроконтроллера реализовано через библиотеку аппаратной абстракции HAL. Для работы с файловой системой накопителя данных используется библиотека FatFS. Все перечисленные программные компоненты свободно распространяются с открытым исходным колом.

Основной код фреймворка написан на языке С++, что позволяет использовать для реализации функционала, требуемого системой управления, такой механизм объектно-ориентированного программирования, как наследование классов. Однако из-за того, что текущая версия FreeRTOS портирована для семейства микроконтроллеров STM32 только на языке С, в проекте приходится комбинировать языки программирования С и С++. Для взаимодействия кода, написанного на С и С++, используется отдельный программный слой, осуществляющий обертку вызовов функций ОСРВ из кода фреймворка и наоборот. Если в будущих релизах FreeRTOS для STM32 будет сделано портирование на язык С++, то фреймворк системы управления АППА также будет целиком переведён на С++, что немного упростит его внутреннее устройство.

Структура фреймворка образована модулями, отвечающими за отдельные группы функций прибора (рис. 6):

- 1) главный логический модуль (ГЛМ);
- 2) модуль калибровки встроенных датчиков и конфигурации (МК);
- 3) модуль состояния исполнительных устройств (MC);
 - 4) модуль движения (МД);
- 5) модуль опроса измерительных датчиков (МО);
- 6) модуль ведения журнальных файлов (МЖ);
- 7) модуль внешних коммуникаций (МВ);



Puc. 6. Структурная схема взаимодействия модулей фреймворка и аппаратных ресурсов контроллера

8) модуль автономной работы по расписанию (МА).

Логика функционирования контроллера преимущественно сконцентрирована в ГЛМ, который исполняет функции «дирижера» всей конструкции. Важнейшие его задачи:

- управление режимами энергопотребления;
 - обработка исключений;
- осуществление взаимодействия между остальными модулями.

Для предсказуемого и однозначного поведения системы очень важно избежать образования произвольных межмодульных связей и зависимостей, поэтому обмен сообщениями модули ведут исключительно через ГЛМ, и что особенно важно: только ГЛМ может вызывать функции модулей, которые изменяют внутреннее состояние этих модулей. Таким образом, все обозначенные на структурной схеме прямые связи между модулями, например односторонняя связь между модулем калибровки и модулем состояния, означают лишь то, что

некоторые модули потребляют в режиме «только чтение» доступные данные других модулей. Так, МС читает из МК калибровочные коэффициенты датчика наружного давления и приводит показания датчика к значению глубины в метрах, а МД читает из МС текущее значение глубины и использует его для управления движением аппарата.

Важной особенностью фреймворка является то, что все величины, используемые при межмодульном обмене данными, приводятся к соответствующим общепринятым системам единиц, в большинстве своём к СИ. Для дополнительного удобства разработчика указание единиц встроено в соответствующие названия функций и переменных, например: функция getDepth_m() возвращает величину текущей глубины в метрах.

Особое внимание уделено стилю кода и его документированию. Поскольку разработчику в дальнейшем придется работать с исходным кодом фреймворка, то его удобочитаемость и понятность

может оказаться критичной для временных затрат процессов разработки и тестирования. Поэтому в качестве основы для стиля оформления кода использовался широко известный стандарт Google C++ StyleGuide, а для документирования использовалась разметка автоматизированной документирующей системы Doxygen.

2.2. Описание модулей фреймворка системы управления

Модуль калибровки (МК) отвечает за сохранение калибровочных и конфигурационных констант в энергонезависимой памяти, причем для этого из соображений надежности используется не подключаемая MicroSD карта, являющаяся основным накопителем данных, а свободные страницы FLASH-памяти самого микроконтроллера. При включении питания МК осуществляет загрузку калибровочных констант из памяти и во время работы осуществляет конвертирование величин, получаемых от встроенных датчиков контроллера в соответствующие общепринятые единицы.

Модуль состояния (МС) отвечает за регулярный опрос встроенных служебных датчиков (это датчики ориентации и датчики состояния исполнительных устройств), а также проверку получаемых данных на нахождение в допустимых пределах. В случае выхода значений показаний служебных датчиков из заданных пределов модуль генерирует исключение, передаваемое в ГЛМ для обработки.

Модуль движения (МД) исполняет последовательность действий, необходимых для перемещения аппарата, руководствуясь командами, получаемыми от ГЛМ, и контроль текущего положения

аппарата. Вся логика прямой работы с моторами, например последовательность включения, регулирование мощности и т.п., содержится внутри МД. При обращении к МД ГЛМ использует команды высокого уровня, описывающие движение аппарата, например: «перейти на горизонт 300 м» или «принять крен 15° на правый борт».

Также в МД собраны функции обработки ошибок, которые могут возникнуть с исполнительными механизмами. Во-первых, это нужно для минимизации времени, необходимого на принятие решения о реакции на обнаруженную неисправность. Во-вторых, это позволяет держать весь низкоуровневый функционал по работе с механикой в рамках одного модуля. Поэтому МД периодически запрашивает у МС данные, полученные с некоторых служебных датчиков. В случае обнаружения того или иного отказа (например, в случае достижения предельного уровня тока в электрической цепи мотора) МД немедленно выполняет действия, направленные на обеспечение безопасности аппарата (например, выключает двигатель) и генерирует исключение, передаваемое в ГЛМ для обработки.

Главный логический модуль (ГЛМ) реализует программную модель аппарата как структуру, описывающую текущее состояние всех систем аппарата и его положение в пространстве. Самыми важными задачами ГЛМ являются поддержание адекватности модели, управление режимами энергопотребления, обеспечение взаимодействия модулей и обработка возникающих исключений. Также предусмотрена работа в режиме «ведомый», когда ГЛМ выполняет команды, поступающие через мо-

дуль внешних коммуникаций извне, например, от модуля инерциальной навигации.

Модуль опроса внешних датчиков (МО) предоставляет унифицированный программный интерфейс для ГЛМ, позволяющий выполнять опрос 31 независимого измерительного датчика (идентификаторы с 1 по 31). При этом имеется возможность опрашивать как весь комплекс измерительных датчиков, установленных на аппарате, так и отдельные датчики выборочно. Результаты измерения, в виде унифицированной структуры данных, передаются в ГЛМ для сохранения на внешний носитель и/или передачи в модуль внешних коммуни-

Датчик с идентификатором 0 является виртуальным датчиком, формирующим блок данных для передачи в режиме онлайн по беспроводному каналу. Это позволяет отделить программный код накопления и обработки данных для отправки в режиме онлайн от программного кода ГЛМ.

Такое выделение функций опроса измерительных датчиков в отдельный от ГЛМ модуль позволяет модифицировать как набор датчиков, так и необходимый для их опроса программный код (т.н. драйверы) для конкретного аппарата без внесения изменений в программный код ГЛМ и других модулей, работающих с данными, полученными от измерительных датчиков.

При подключении к прибору дополнительного измерительного датчика задача разработчика сводится к реализации драйвера этого датчика, который будет взаимодействовать с МО через программный интерфейс, содержащий такие функции, как «включить», «выбрать конфигурацию», «провести

измерение», «выключить» и некоторые другие. Шаблон такого драйвера выполнен в виде абстрактного класса С++, что дополнительно облегчает задачу разработчика.

Модуль ведения журнальных файлов (МЖ) отвечает за работу с внешним носителем данных на съемной MicroSD карте. Для работы с файлами применяется стандартная файловая система FAT (версии FAT12, FAT16 или FAT32), которая обеспечивает функции создания журнальных файлов, записи произвольных данных в журналы, контроль свободной емкости накопителя, безопасное закрытие файлов и определение ошибок. Кроме того, использование FAT делает тривиальной процедуру считывания данных со съемного носителя, так как эта файловая система поддерживается практически всеми современными компьютерными операционными системами. Базовый функционал модуля обеспечивает ведение двух журналов параллельно: текстового журнала системных событий и двоичного журнала состояния.

В журнале системных событий записываются информационные и отладочные сообщения от всех модулей в формате, удобном для визуального чтения. Основным назначением этого журнала являются диагностика и отладка системы, а также оценка корректности выполнения задания аппаратом по завершении работы.

Журнал состояния содержит регулярные записи с показаниями всех внутренних датчиков прибора в двоичном формате. Для его расшифровки используется прикладное пользовательское ПО. В случае подключения дополнительных внешних датчиков можно либо расширить формат журнала состояния, либо открыть дополни-

тельные файлы, по выбору разработчика.

Модуль внешних коммуникаций (МВ) обеспечивает работу беспроводных средств внешней связи (GSM, WiFi) и служебного подключения (UART). Для связи GSM реализована передача данных (результаты текущих измерений, состояние аппарата) на удаленный сервер по специализированному двоичному протоколу, основанному на транспортном протоколе ТСР. При необходимости этот протокол легко может быть адаптирован для работы со спутниковыми средствами связи.

Для WiFi и служебного подключения (UART) реализован специализированный асинхронный двоичный протокол двустороннего обмена данными и командами управления. В случае WiFi на транспортном уровне используется UDP, а для UART транспортный уровень реализован в самом протоколе обмена данными. Этот протокол позволяет получать от контроллера АППА регулярные посылки с данными служебных и измерительных датчиков, коды исключений и отправлять управляющие команды для диагностики, тестирования и программирования аппарата. Разумеется, для каждого конкретного типа АППА протокол обмена данными может быть по необходимости расширен.

Модуль автономной работы по расписанию (МА) реализует функции получения, хранения и автономного исполнения расписания измерений, а также может отправить в ГЛМ команду для перехода всей системы в состояние ожидания на заданный интервал времени.

Работу МА инициирует ГЛМ, отправляя команду «перейти в автономный режим», после чего за-

прашивает у МА следующий шаг. В зависимости от реализованной логики модуля и от заданной программы МА передаёт в ГЛМ задание, которое нужно выполнить следующим, ГЛМ, в свою очередь, обращается к соответствующим модулям для выполнения задачи, а по окончании вновь обращается к МА за заданием следующего шага. Далее этот процесс повторяется до окончания автономного пикла.

3. Прикладное ПО

Для взаимодействия с разными модификациями АППА требуются разные версии прикладного ПО, однако многие функции их будут совпадать, что обусловлено использованием в АППА унифицированного контроллера и встроенного ПО. Наиболее очевидными примерами такого общего функционала являются реализация протокола служебной связи, разбор двоичного журнала состояния и графическое представление получаемой телеметрии.

Чтобы упростить разработку версий прикладного ПО для новых модификаций АППА, разработан шаблон приложения для персонального компьютера (рис. 7), в котором собран весь основной функционал. Для реализации приложения был выбран язык программирования Java, что позволяет получать исполняемые файлы без модификаций исходного кода на современных операционных системах: Windows, Linux и macOS.

Программная архитектура приложения выполнена в соответствии с шаблоном проектирования MVC (Model-View-Controller) [5], что позволяет отделить код, описывающий программную модель прибора и взаимодействие с АППА от визуального представления данных (пользовательского интерфейса). Такой подход позволяет эффективно развивать и изменять внешний вид приложения, а также облегчает в перспективе задачу портирования приложения на мобильные платформы, такие как планшеты или смартфоны.



Puc. 7. Внешний вид графического интерфейса пользователя приложения для диагностики и программирования АППА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка унифицированной системы управления автономного подводного профилирующего аппарата была начата в 2016 г. В июле 2017 г. были успешно проведены морские испытания опытного образца лебедочного зонда с системой управления, построенной на базе первой версии контроллера и фреймворка встроенного ПО. В ходе испытаний была собрана информация об энергопотреблении в разных режимах работы и исследовано поведение зонда в условиях течения. В настоящий момент изготовлены образцы второй версии контроллера АППА, продолжается работа над совершенствованием встроенного и прикладного ПО, идет подготовка контроллера к предстоящим морским испытаниям в составе лебедочного и профилирующего зондов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010).

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н. и др. Заякоренная профилирующая океанская обсерватория // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 2 (8). С. 50–59.
- 2. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. 2013. Т. 53, № 2. С. 259–268.
- 3. Пат. № 2622677 РФ, МПК F02К 9/56. Подводный лебедочный зонд / Островский А.Г., Швоев Д.А. № 2016127091; заявл. 31.01.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 3.
- 4. Пат. РФ № 2609849, МПК В63В22/18, В63В22/20. Автономный дрейфующий, профилирующий океанологический буй / Островский А.Г., Леденев В.В., Швоев Д.А. № 2015150936; заявл. 27.11.2015; опубл. 06.02.2017, Бюл. № 4.
- 5. Krasner G.E. et al. A description of the model-view-controller user interface paradigm in the smalltalk-80 system // Journal of object oriented programming. 1988. Vol. 1, No. 3. P. 26–49.