

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕННОЙ ОТЛАДКИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

А.В. Инзарцев, Г.Д. Елисеенко, А.М. Павин, И.В. Пашкевич

Представлена методика отладки программного комплекса управления (ПКУ) для автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). При этом отлаживаемый ПКУ размещается на базе удаленного инструментально-программного комплекса моделирования (испытательного стенда). Отладка ПКУ проводится двумя группами разработчиков, находящихся на разных предприятиях, а для взаимодействия разработчиков со стендом используется интернет-соединение. Рассмотрен процесс удаленной отладки с точки зрения структурной организации ПКУ и стенда. Описаны процедура настройки взаимодействия составных частей стенда и основные этапы, включающие автономную отладку, удаленную отладку драйверов и комплексную удаленную отладку. Методика отладки использовалась при разработке ПКУ для одного из проектов, выполняемых ИПМТ ДВО РАН.

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), программный комплекс управления (ПКУ), инструментально-программный комплекс моделирования, совместная разработка программного обеспечения, дистанционная отладка программ.

Введение

Обязательным этапом разработки программного обеспечения (ПО) для автономных подвижных объектов (в частности, АНПА), находящихся длительное время без связи с оператором, является тщательная отладка. Отладка предназначена для своевременного обнаружения ошибок в реализации ПО, проверки взаимодействия различных компонентов системы и устранения выявленных недостатков. Отладка необходима для всего программно-аппаратного комплекса автономного объекта в связке с постом управления и связи (ПУС). Далее для определенности рассматривается процедура отладки по отношению к АНПА.

Важную роль при отладке играют специальные стенды (инструментально-программные комплексы моделирования), включающие в свой состав реальное бортовое оборудование АНПА или его имитаторы, а также математические модели (внешней среды, динамики подводного робота) для полноценной имитации условий работы оборудования. Испытательные стенды создаются для решения двух основных задач:

- предварительной отладки бортового оборудования и программного обеспечения до установки на борт АНПА (который к этому моменту может находиться ещё на этапе изготовления);
- сопровождения АНПА в процессе эксплуатации (для воспроизведения и последующего анализа возникающих проблемных ситуаций).

Создание АНПА большого водоизмещения и автономности [1–3] предполагает кооперацию нескольких предприятий-изготовителей, зачастую располагающихся в разных регионах. На момент отладки возможна ситуация, когда отладочный стенд для АНПА и группы разработчиков бортовых функциональных модулей будут находиться на значительном удалении друг от друга. Это обстоятельство должно быть учтено при разработке технологии отладки ПО.

Тема отладки программного обеспечения для автоматизированных систем управления в настоящее время представлена в литературе достаточно широко. Как правило, в каждой из работ авторы акцентируют внимание лишь на одном из аспектов комплексной

проблемы отладки. Например, в работах [4, 5] внимание уделено именно технологии удаленной отладки, однако под «удаленной» понимается отладка встроенных систем. Ряд работ посвящен особенностям отладки управляющих систем в реальном времени [6, 7]. При этом акцент сделан на средства и методы локализации низкоуровневых ошибок, приводящих к «падению» или неадекватной работе программ. В других работах [8, 9] идёт обсуждение методики отладки ПО автоматизированных комплексов управления с использованием разного рода имитационных стендов. Акцент в них сделан не на низкоуровневой отладке программ, а на выявлении и исправлении неточностей в алгоритмической организации отдельных модулей с целью реализации предусмотренной модели поведения всего комплекса программ. Наконец, ряд работ посвящен средствам, позволяющим организовать удаленную разработку проекта несколькими группами разработчиков [10, 11]. В то же время комплексная задача отладки управляющего ПО для автономных робототехнических систем в описанной выше постановке не решалась.

Далее в статье рассматриваются основные этапы отладки программного комплекса управления АНПА на базе удаленного отладочного стенда.

1. Общий подход к организации отладки функциональных модулей ПКУ

В основу подхода к отладке ПО положен принцип, когда на ранних стадиях жизненного цикла про-

екта вместо реально действующих модулей системы создаются их имитаторы с ограниченной функциональностью (т.н. заглушки). Как правило, основной функцией заглушек является поддержка заранее согласованных интерфейсов информационного обмена. По мере появления реального ПО и оборудования заглушки заменяются действующими программами и устройствами. Заглушки имеются у всех участников процесса создания ПО, что позволяет каждому исполнителю своевременно отлаживать свои части независимо от других. На последующих этапах жизненного цикла проекта создается общий программно-аппаратный стенд, к которому имеют удаленный доступ все разработчики.

Программно-аппаратная структура стенда и ПКУ должны поддерживать применение упомянутого подхода. Предполагается, что при создании ПКУ будет использована программная архитектура, принятая в ИПМТ ДВО РАН [2]. На рис. 1 укрупненно отображено взаимодействие основных программных модулей АНПА и судового поста управления.

Согласно приведенной схеме можно выделить две основные группы программного обеспечения по признаку их расположения. Первая группа ПО размещается на посту управления и связи, вторая – на АНПА. В свою очередь, каждую из групп можно подразделить на программное обеспечение верхнего уровня (ядро) и исполнительное ПО (уровень драйверов). Основным отличием программного обеспечения верхнего уровня от ПО исполнительного уровня является отсутствие у первого прямых

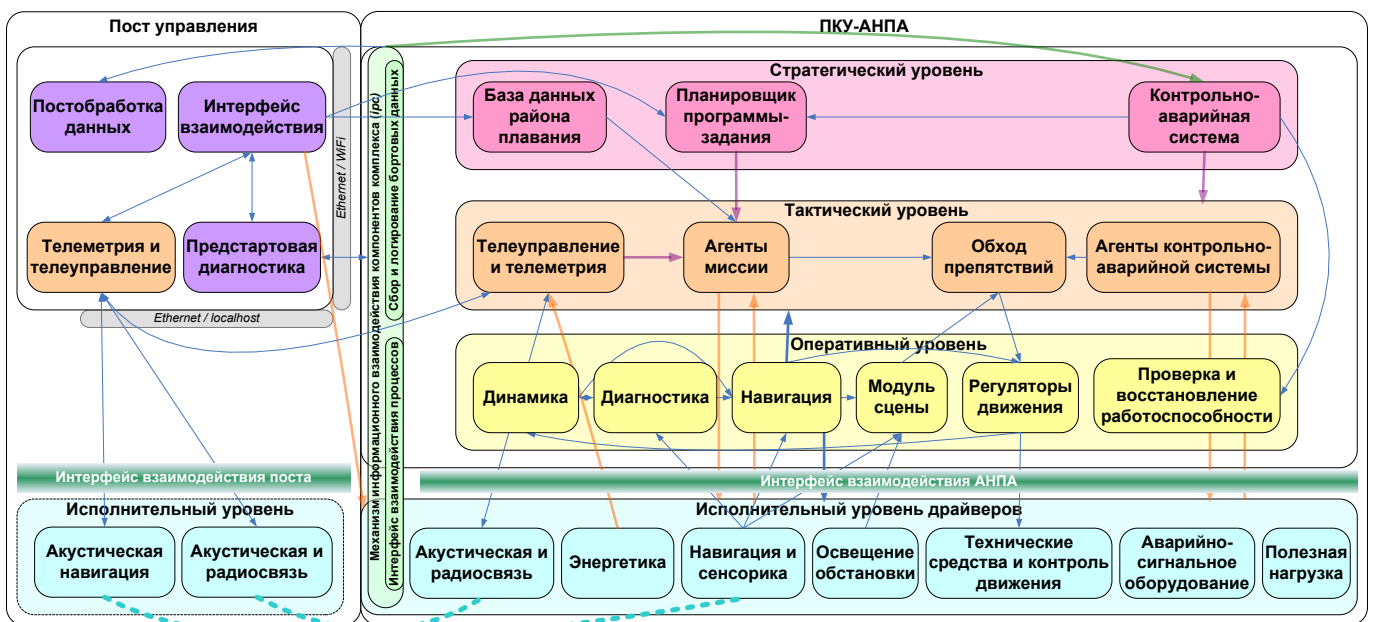
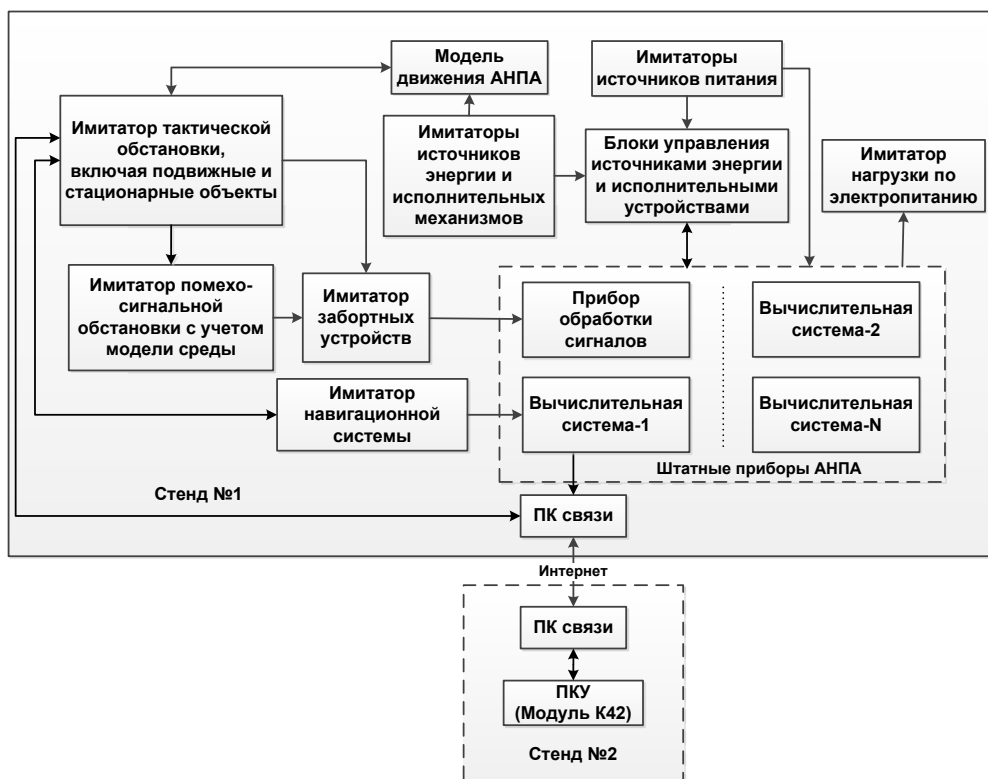


Рис. 1. Схема взаимодействия основных подсистем АНПА и ПУС

Рис. 2. Структура и схема взаимодействия стендов № 1 и № 2



связей с оборудованием и устройствами. Такой подход позволяет относительно независимо создавать алгоритмически нагруженное программное ядро и ПО, непосредственно связанное с оборудованием и устройствами. Ключевым звеном в данном подходе является наличие общего интерфейса взаимодействия между ядром и исполнительным уровнем. Интерфейс представляет собой описание форматов данных и общий механизм взаимодействия программных модулей, предназначенных для обмена (мессенджинга) всех компонентов системы. Интерфейс создается на самых ранних стадиях написания программного обеспечения и изменяется относительно редко по сравнению с модификацией самого ПО.

Предполагается, что в рамках работ над АНПА группы разработчиков будут производить отладку ПО с использованием двух удаленных отладочных стендов (рис. 2):

- Стенд № 1 позволяет максимально правдоподобно имитировать условия работы управляющего ПО на реальном оборудовании. Стенд содержит бортовые устройства, имитатор тактической обстановки АНПА, динамическую модель АНПА, а также имитатор помехосигнальной обстановки, формирующий имитационный поток данных с выхода заборных устройств. Реакция системы управ-

ления через драйверы и исполнительные механизмы должна быть доведена до имитатора тактической обстановки. ПО исполнительного уровня (драйверы) создается и отлаживается в рамках этого стенда.

- Стенд № 2 состоит из системы программного управления АНПА, размещенной на штатном бортовом вычислительном модуле, и графического интерфейса пользователя. Этот стенд не содержит ни одного бортового устройства, а оперирует только данными, поступающими от стенда № 1. При последующей замене имитационного стенда № 1 на реальное оборудование состав системы программного управления не изменяется.

Совместная работа стендов и отлаживаемого ПО организуется на базе используемой в ИПМТ ДВО РАН программной платформы для робототехнических систем, которая обеспечивает единый механизм информационного взаимодействия всех компонентов системы [12, 13].

Для проведения комплексной отладки стенды оборудуются высокоскоростным выходом в Интернет и средствами шифрования. Оборудование шифрования и выход в сеть настраиваются таким образом, чтобы обеспечивался прозрачный туннель IP-пакетов между стендами. Предполагается, что отладка ПО будет производиться поэтапно.

1.1. Отладка на базе взаимодействующих стендов

Этап автономной отладки осуществляется на стенде № 2. Для этих целей на стенд устанавливаются аппаратно независимое ядро ПКУ, а также программы-имитаторы драйверов исполнительного уровня (заглушки). Назначение последних – поддержка согласованных с остальными группами разработчиков информационных интерфейсов драйверов. В задачи этапа входят:

- отладка основных функциональных модулей ПКУ и их взаимодействия в условиях вычислительной среды стенда № 2;
- отладка информационного взаимодействия ядра ПКУ и драйверов исполнительного уровня;
- проверка и настройка прохождения UDP-сообщений через Интернет и систему криптографирования.

Для выполнения последнего пункта заглушки размещаются на отдельном компьютере, связанном со стендом № 2 через Интернет.

Этап настройки информационного взаимодействия стендов № 1 и № 2 предполагает, что стенды размещены удаленно друг от друга (в разных городах). При этом стенд № 2 находится на стороне разработчиков ПКУ. Для решения задачи этапа заглушки-драйвера размещаются на стенде № 1 и взаимодействуют через Интернет с ядром ПКУ, размещенным на стенде № 2. Основная задача этапа – добиться таких же условий информационного взаимодействия между заглушками и ядром, как и при размещении их на одном стенде.

Этап отладки драйверов бортового оборудования. В процессе взаимодействия через Интернет производится отладка ПО на обоих стендах. По мере отладки заглушки драйверов на стенде № 1 заменяются реальными драйверами, которые управляют имитаторами соответствующих систем. Отладку драйверов на стенде № 1 выполняют разработчики соответствующих систем. В задачи этапа входят:

- отладка алгоритмов работы драйверов бортового оборудования АНПА;
- отладка реакций ПКУ на аварийные ситуации с бортовым оборудованием;
- комплексная отладка взаимодействия ПКУ посредством драйверов с бортовым оборудованием во время имитации выполнения миссии.

На данном этапе задействуется оборудование ПУС и АНПА, установленное на стенде, а также имитаторы оборудования, которое нецелесообразно

или невозможно использовать на стенде (двигатель-но-рулевой комплекс, гидроакустические приборы и т.п.). Имитаторы оборудования способны эмулировать поведение устройств в различных ситуациях. Имитатором оборудования может служить как программная заглушка (например, программа, имитирующая поведение датчика глубины), так и программно-аппаратный комплекс (например, имитатор передачи данных по гидроакустическому каналу, производящий обмен между приемным и передающим устройством по последовательному каналу).

Особенность этапа заключается в присутствии временной задержки при передаче данных между программным обеспечением, находящемся на удаленных стендах. Задержка обусловлена как передачей данных по сети Интернет, так и наличием шифрующего оборудования. Это необходимо учитывать при проведении отладки. В частности, модули, поведение которых существенно зависит от наличия «незапланированной» временной задержки, модифицируются или временно заменяются заглушками.

Программное обеспечение обоих стендов используется в режиме имитации без какой-либо информации о месте своего размещения. Драйвера оборудования располагаются на одном стенде и общаются как с имитаторами оборудования, так и с ядром системы управления, находящимся на другом стенде. Для обеспечения обратных связей в контуре управления АНПА, в общем случае, необходимо взаимодействие имитаторов оборудования друг с другом (рис. 3).



Рис. 3. Взаимодействие программ ядра системы управления с драйверами, устройствами и имитаторами оборудования

Подобное взаимодействие устанавливается через имитатор среды, который общается непосредственно с оборудованием (или имитаторами) АНПА и не имеет прямых связей с системой управления. В качестве имитатора среды может выступать один или несколько компьютеров (объединенных в локальную вычислительную сеть), имеющих информационные связи с имитаторами оборудования. Имитатор среды обеспечивает информационное взаимодействие с имитаторами оборудования путем вычисления показаний последних. В задачи имитатора среды входят:

- расчет показаний навигационных сенсорных устройств на основе данных движительно-рулевого комплекса;
- имитация показаний поисково-обследовательского оборудования с учетом режима работы устройств и местонахождения АНПА в виртуальной сцене.

1.2. Комплексная отладка на базе единого стенда

Комплексная отладка на базе единого стенда производится после окончания совместной удаленной отладки. Ядро ПКУ переносится на стенд № 1. Методика отладки на данном этапе подразумевает проведение всех перечисленных ранее процедур в условиях единой локальной вычислительной сети на базе стенда № 1. Удаленный доступ разработчиков ПКУ к компьютерам АНПА и ПУС обеспечивается по протоколу *SSH*, а также с использованием удаленного рабочего стола. Комплексная отладка на едином стенде позволяет получить условия функционирования, наиболее приближенные к реальным. В этом режиме весь информационный трафик модулей и драйверов системы управления АНПА и ПУС сосредоточен внутри соответствующих вычислительных сетей и имеет объем и таймирование, аналогичные условиям работы в целевом АНПА. Дополнительно в ходе комплексной отладки на едином стенде проверяются:

- расходование вычислительных ресурсов программными модулями АНПА и ПУС;
- объем передаваемых по сети данных;
- объем логируемых (сохраняемых) данных каждым модулем АНПА и ПУС в различных режимах функционирования с прогнозированием результатов на весь период автономности подводного робота;
- имитация отказа или ограничения функциональности одного или нескольких приборов (модулей) АНПА.

Особенностью функционирования имитатора является взаимодействие с реальным оборудованием,

что накладывает ряд ограничений по проведению отладочных экспериментов. В частности, необходимо согласовывать время использования оборудования различными группами разработчиков, и в большинстве случаев отсутствует возможность проведения ускоренной симуляции.

2. Отладка ПКУ для АНПА

2.1. Организация и ход удаленной отладки

Описанная в статье методика применялась при отладке программного комплекса управления для АНПА в рамках одного из проектов, выполняемых ИПМТ ДВО РАН. Отладка производилась совместно двумя коллективами разработчиков, находившимися в ОАО «ЦНИИ «Электроприбор»» (г. Санкт-Петербург) и в ИПМТ ДВО РАН (г. Владивосток). В задачи первой группы входила разработка драйверов исполнительного уровня с использованием стенда № 1. Вторая группа занималась разработкой и отладкой ПКУ на базе стенда № 2.

На этапе автономной отладки использовался стенд № 2 (рис. 4), построенный на базе процессорного модуля серии К-42.

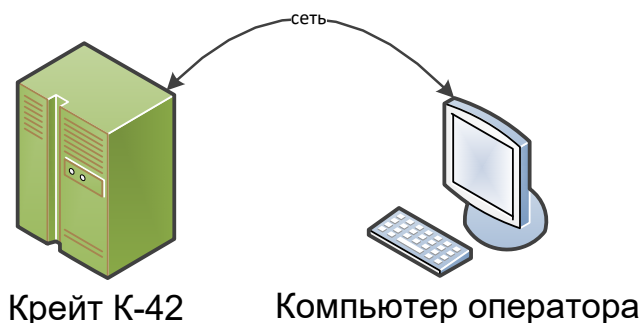


Рис. 4. Отладочный стенд № 2 для автономных проверок

Выбор крейта К-42 в оборудовании стенда обусловлен использованием процессорных модулей данной серии для организации вычислительной сети на борту АНПА. Этап автономной отладки ПКУ был успешно реализован на стенде № 2. К основным результатам этапа можно отнести:

- создание полного набора программ-имитаторов драйверов, поддерживающих согласованные протоколы обмена;
- проверку основной функциональности ПКУ;
- проверку и оценку используемых вычислительных ресурсов при работе ПКУ на базе процессорного модуля серии К-42.

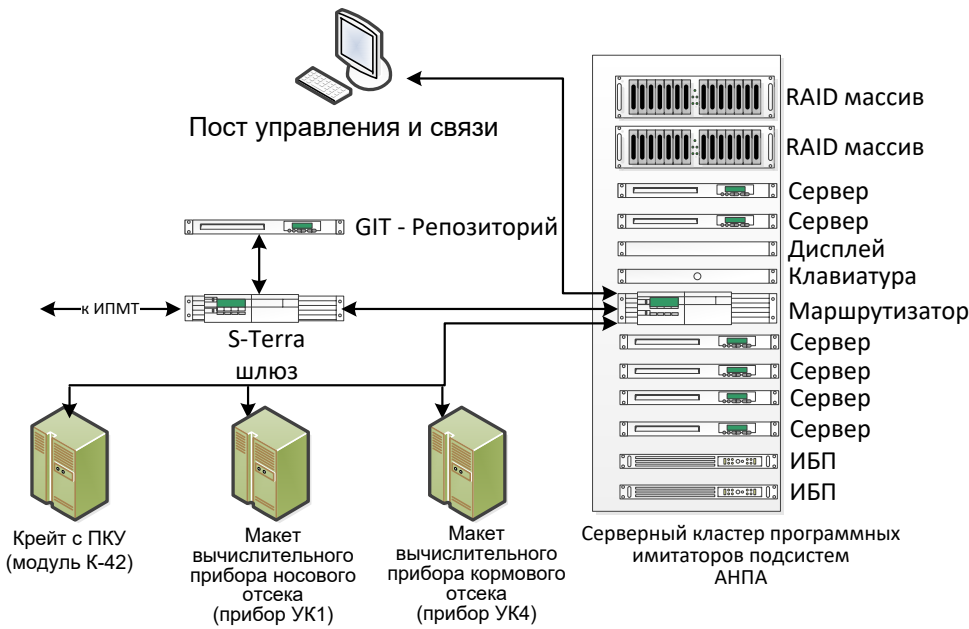


Рис. 5. Структура отладочного стенда № 1

После этого разработанный набор программ-загрузок был передан в ОАО «ЦНИИ «Электроприбор» для размещения на стенде № 1 и перехода к этапу настройки информационного взаимодействия стендов. В составе стенда № 1 использовалось следующее оборудование (рис. 5):

- серверы;
- коммутатор;
- источники бесперебойного питания;
- внешний накопитель;
- монитор с клавиатурой.

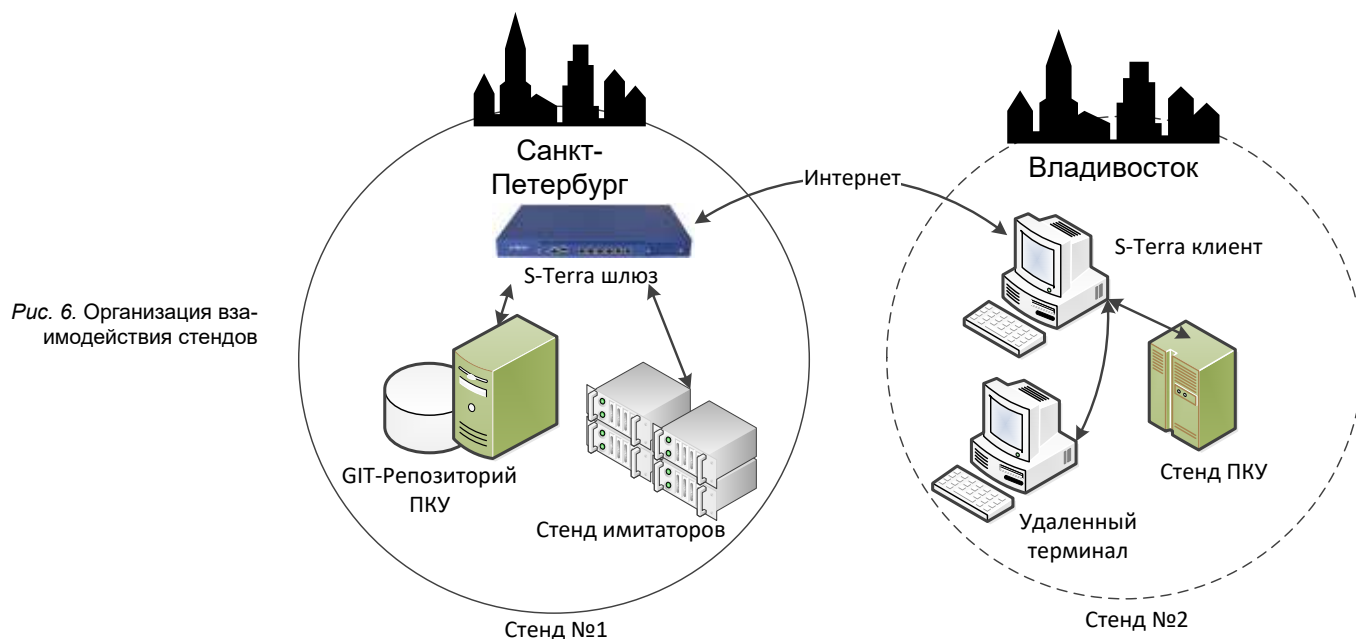
На технических средствах стенда (рис. 5) размещалось штатное ПО поста управления и связи с имитаторами средств радио/гидроакустической связи и навигации, а также штатное ПО АНПА (ПКУ и драйверы) с имитаторами:

- тактической обстановки;
- помехосигнальной обстановки и среды распространения сигналов;
- гидроакустических средств освещения обстановки;
- навигационной подсистемы;
- технических средств (уравнительно-дифференциальной системы, подъемно-мачтовых устройств и т.п.);
- маршевого движительно-рулевого комплекса;
- литий-ионной аккумуляторной батареи;
- многоканального преобразователя напряжения;
- распределительных секций электроэнергетической системы.

Объединение территориально разделенных стендов в одну локальную сеть на этапе настрой-

ки взаимодействия осуществлялось через создание защищенных каналов связи на базе оборудования компании *S-Terra*. Продукты *S-Terra* включены в «Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных» и могут использоваться как в государственных учреждениях, так и в коммерческих организациях в соответствии с отраслевыми стандартами и требованиями по защите информации [14]. Для настройки зашифрованного канала необходимо на одной стороне иметь *S-Terra* шлюз, а на другой *S-Terra* клиент (рис. 6). Шлюз *S-Terra* представляет собой программный комплекс на аппаратной платформе, предназначенный для обеспечения безопасности связи любой топологии, с любым количеством туннелей и был установлен в составе стенда № 1. Клиент *S-Terra* представляет собой программный комплекс, предназначенный для защиты и фильтрации трафика с контролем состояния сессий для пользовательских устройств, на которые он установлен. Данный клиент был установлен на стенд № 2.

Следует отметить, что время выполнения этапов настройки информационного взаимодействия и удаленной отладки драйверов было значительно сокращено ввиду неудовлетворительных характеристик имеющегося доступа к сети Интернет (огромные временные задержки при передаче *UDP*-сообщений и высокая вероятность пропадания информационных пакетов). По этой причине основной объем отладки выполнялся на базе единого стенда, для чего все программные модули ПКУ были перемещены на стенд № 1. На стенде № 2 остались только сервисные утилиты для доступа к единому стенду.



Для удобства совместной работы двух групп разработчиков в составе стенда был размещен *GIT*-репозиторий с программами ПКУ (рис. 6). Совместное использование *GIT*-репозитория позволяло обновлять и поддерживать актуальное состояние комплекса программ по мере выполнения отладки. В связи с особенностью реализации имитаторов оборудования (для функционирования которых необходим графический интерфейс) доступ к компьютерам настраивался через протокол удаленного рабочего стола *RDP*.

2.2. Результаты отладки

В ходе комплексных испытаний были протестированы протоколы взаимодействия между ПКУ и реализованными драйверами устройств. К основным результатам комплексной отладки можно отнести следующие.

- Проведена настройка и проверка работоспособности контура управления движением АНПА в различных режимах.
- Проверена реализация принятых моделей поведения АНПА во время выполнения миссии, в том числе при наличии аварийных ситуаций (реакции на появления аварий и штатных режимов работы бортовых устройств, а также реакции на появления ошибок в данных бортовой навигационной системы). Моделирование аварийных ситуаций проводилось во время симуляции миссии путем подмены реальных данных, циркулирующих в системе, на

аварийные значения, а также путем указания имитаторам о необходимости формировать параметры вне допустимых пределов и/или выставлять флаги отказов приборов, блоков и модулей. Для подмены данных использовались механизмы, заложенные в применяемой программной платформе [15]. Было проведено несколько запусков маршрутных заданий, в процессе которых оператор активировал ту или иную аварию, ПКУ при этом оперативно детектировал ее и выполнял запрограммированные действия по ее устранению.

- Проверены приём и обработка команд телеуправления подводным аппаратом во время выполнения миссии (рис. 7), а также приём телеметрической информации от АНПА на посту оператора.
- Проверена работа средств обеспечения навигационной безопасности АНПА при движении по маршруту. Проверялась работа средств обнаружения и алгоритмов обхода локальных и протяженных препятствий (рис. 8).
- Проведена отладка средств обеспечения обсервации по донным маякам-ответчикам (ДМО). Проверялось взаимодействие имитаторов ДМО и гидроакустической навигационной системы АНПА (рис. 9).
- Подтверждена возможность ПКУ выполнять длительные циклические комплексные миссии. Длительность проведенной тестовой миссии составила несколько десятков часов.

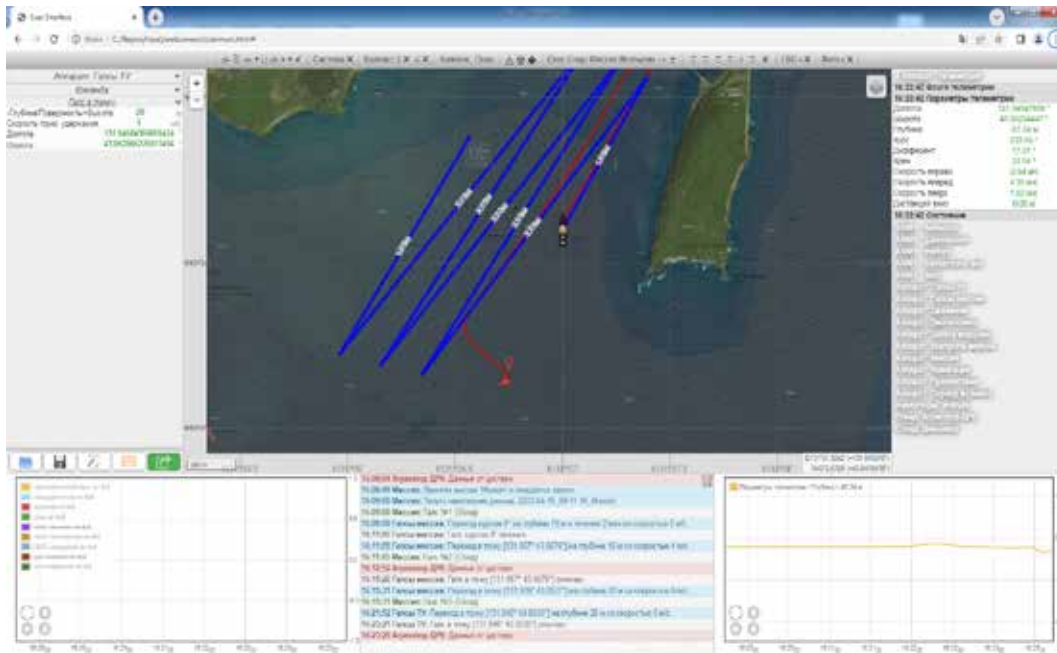


Рис. 7. Поведение АНПА после подачи команды телеуправления и возвращения после основной миссии после отработки данной команды

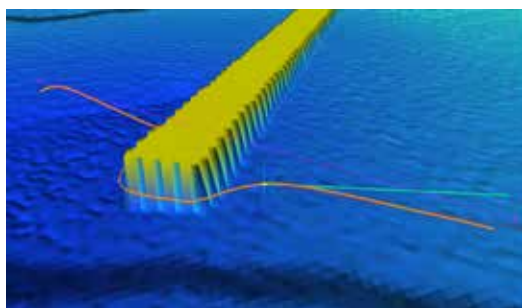


Рис. 8. Траектория АНПА при обходе препятствия

Заключение

Представленная методика удаленной отладки управляющего программного обеспечения АНПА позволяет согласовать работу нескольких групп разработчиков, находящихся на разных предприятиях. Особенностью методики является то, что для её реализации имеется возможность использования как обычных каналов связи, так и специальных каналов с шифрующей аппаратурой. Кроме того, методика позволяет разработчикам впоследствии осуществлять удаленное сопровождение готового АНПА во время его эксплуатации. Описанный подход был успешно использован в работе над одним из проектов, выполняемых ИПМТ ДВО РАН.

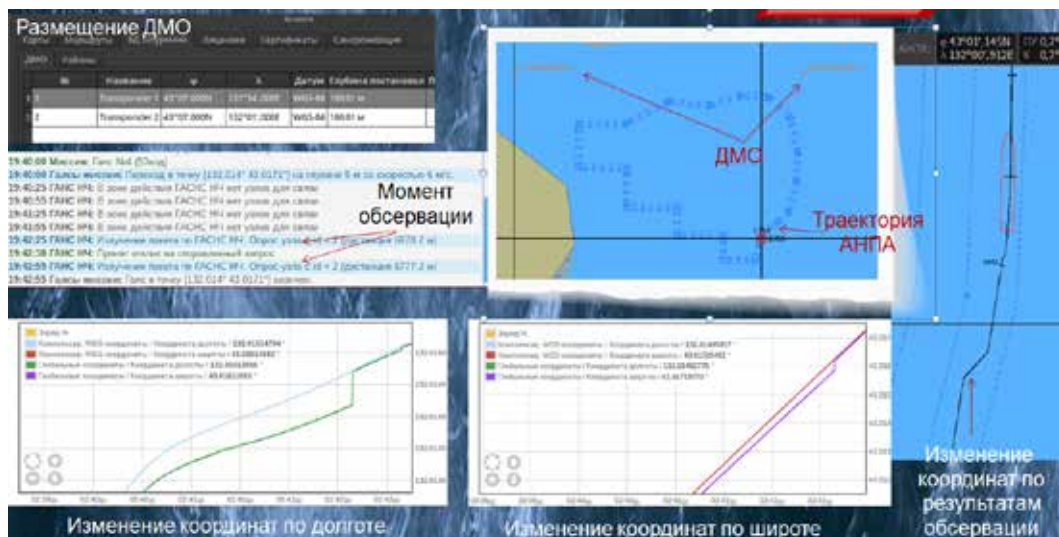


Рис. 9. Выполнение обсервации АНПА по ДМО

ЛИТЕРАТУРА

1. Апполонов Е.М., Бачурин А.А., Горохов А.И., Пономарев Л.О. О возможности и необходимости создания сверхбольшого необитаемого подводного аппарата // Материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления», г. Владивосток, 2-6 апреля 2018 г. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2018. С. 34–41.
2. 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.
3. Быкова В.С., Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В. Диспетчер мультиагентной системы управления автономного необитаемого подводного аппарата: структура, алгоритмы, результаты моделирования // Гирскопия и навигация. 2020. Т. 28, № 3(110). С. 109–121.
4. Королев Е.В. Удаленная отладка программного обеспечения // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. / ФНПЦ «НПО «Аврора». СПб, 2003. Вып. 5 С. 129–131.
5. Грюнталь А.И., Нархов К.Г. Методы удаленной отладки ПЛК в среде TSCAГ СПО // Тр. НИИ системных исследований РАН. 2020. Т. 10, № 5/6. С. 120–126.
6. Костюхин К.А. Отладка систем реального времени – URL: <https://www.sao.ru/hq/sts/linux/doc/rtsdebug/rtsdebug.html> (дата обращения: 27.07.2022).
7. О методах отладки программ автоматизированных систем управления технологическими процессами – URL: <https://ritm.pro/metody-otladki-programm-avtomatizirovannyh-sistem-upravlenija-tehnologicheskimi-processami> (дата обращения: 27.07.2022).
8. Батраков С.В., Дебруков Е.И., Ефимов В.А., Романова Т.В., Черного В.А., Черных В.П., Шаленинов А.А. Технология проектирования и отладки программного обеспечения системы управления стендовой ЯЭУ с использованием инструментально-программных комплексов моделирования // Технологии обеспечения жизненного цикла // ЯЭУ. 2017. № 1(7). С. 26–38.
9. Окольников В.В. Использование имитационного стенда при разработке систем автоматизированного управления // Проблемы информатики. 2008. №1. С. 75–79.
10. Удаленная разработка JetBrains – URL: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/remote-development/#behind-the-scenes> (дата обращения: 27.07.2022).
11. Программное обеспечение и оборудование для удаленной работы – URL: <https://softline.ru/about/blog/programmnoe-obespechenie-i-oborudovanie-dlya-udalenoj-raboty/> (дата обращения: 27.07.2022).
12. Pavin A., Inzartsev A., Eliseenko G. Reconfigurable Distributed Software Platform for a Group of UUVs (Yet Another Robot Platform) // Proceedings of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Conference & Exhibition. Monterey, California, USA, 2016. P. 19–23.
13. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019610890 РФ. Программная платформа для информационного взаимодействия функциональных компонентов в робототехнических системах / Елисеенко Г.Д., Павин А.М., Инзарцев А.В., Сидоренко А.В.; правообладатель ФГБУН ИПМТ ДВО РАН – № 2018665497; заявл. 27.12.2018; опубл. 18.01.2019, Бюл. № 1.
14. S-Terra шлюз – URL: <https://www.s-terra.ru/products/catalog/s-terra-shlyuz-4-3/> (дата обращения: 06.07.2022).
15. Елисеенко Г.Д. Метод отладки контрольно-аварийной системы АНПА с использованием сценариев развития аварийных ситуаций // Материалы восьмой Всерос. науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана» (ТПМО-8). Владивосток, 2019. С. 287–291.

Сведения об авторах

ИНЗАРЦЕВ Александр Вячеславович, д.т.н., лаборатория систем управления, главный научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской Академии наук (ИПМТ ДВО РАН)
Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5А.
Научные интересы: автономные подводные роботы; информационно-управляющие системы; программная архитектура; миссия робота; планирование миссии; формирование поведения робота
Тел.: 8(423)2215545, доб. 616
E-mail: inzar@marine.febras.ru
ORCID: 0000-0002-1842-9951

ПАВИН Александр Михайлович, к.т.н., лаборатория гидролокационных систем, ведущий научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской Академии наук (ИПМТ ДВО РАН)
Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5А.
Научные интересы: системы управления подводными аппаратами, системы технического зрения, обработка сигнала, гидролокационные системы
Тел.: 8(423)2215545, доб. 510
E-mail: pavin@bk.ru
ORCID: 0000-0001-8878-7888

ЕЛИСЕЕНКО Григорий Дмитриевич, лаборатория систем управления, научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской Академии наук (ИПМТ ДВО РАН)
Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5А.
Научные интересы: системы управления автономными необитаемыми подводными аппаратами
Тел.: 8(423)2215545, доб. 515
E-mail: eliseenko@marine.febras.ru
ORCID: 0000-0003-0386-0068

ПАШКЕВИЧ Иван Владимирович, научно-исследовательский центр «Интегрированные системы освещения обстановки», главный специалист
Государственный научный центр РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Адрес: 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, д. 30
Научные интересы: гидроакустика, системы управления, моделирование, робототехника
Тел.: +7(911)9330006
E-mail: iv@bk.ru
ORCID: 0000-0002-6706-5592



TECHNOLOGY FOR REMOTE DEBUGGING OF CONTROL SOFTWARE IN THE DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES

A.V. Inzartsev, A.M. Pavin, G.D. Eliseenko, I.V. Pashkevich

A technique for debugging the software control system (SCS) for an autonomous underwater vehicle (AUV) is presented. The SCS is located on the remote instrumental-software modeling framework (test bench). At the same time, two geographically separated groups of developers carry out the SCS debugging, and an Internet connection is used for the interaction of developers with the test bed. The process of remote debugging is considered from the point of view of the structural organization of the SCS and the test bench. The procedure for setting up the interaction of the components of the test bench is described. The main stages of debugging are also considered, including offline debugging, remote debugging of drivers, and complex remote debugging. The debugging technique was used in the development of the SCS for one of the projects carried out by the IMTP FEB RAS.

Keywords: autonomous underwater vehicle (AUV), software control system (SCS), instrumental-software modeling framework, joint software development, remote debugging of programs.

References

1. Appolonov E.M., Bachurin A.A., Gorohov A.I., Ponomarev L.O. O vozmozhnosti i neobходимosti sozdaniya sverhbol'shogo neobitaemogo podvodnogo apparata. Materialy XIII Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivnyye sistemy i zadachi upravleniya», Vladivostok, 2-6 April 2018, Rostov-na-Donu: Izd-vo YUFU, 2018. P. 34-41.
2. Borejko A.A., Inzartsev A.V., Mashoshin A.I., Pavin A.M., Pashkevich I.V. Sistema upravleniya ANPA bol'shoj avtonomnosti na baze mul'tiagentnogo podhoda. Underwater investigations and robotics, No. 2(28), 2019. P. 23-31
3. Bykova V.S., Martynova L.A., Mashoshin A.I., Pashkevich I.V. Dispatcher mul'tiagentnoj sistemy upravleniya avtonomnogo neobitaemogo podvodnogo apparata: struktura, algoritmy, rezul'taty modelirovaniya. Girokopiya i navigaciya, Vol. 28, No. 3(110), 2020. P. 109-121.
4. Korolev E.V. Udalennaya otladka programmno obespecheniya. Sistemy upravleniya i obrabotki informacii: Nauchn.-tekhn. sb. FNPC «NPO «Avrora». SPb, 2003. Vyp. 5. P. 129-131.
5. Gryuntal' A.I., Narhov K.G. Metody udalenoj otladki PLK v srede TSAG SPO. Trudy nauchno-issledovatel'skogo Instituta sistemnyh issledovanij Rossijskoj akademii nauk. Vol. 10, No. 5-6, 2020. P. 120-126.
6. Kostyuhin K.A. Otladka sistem real'nogo vremeni. Online: <https://www.sao.ru/hq/sts/linux/doc/rtstdebug/rtstdebug.html> (date of access 27.07.2022)
7. O metodah otladki programm avtomatizirovannyh sistem upravleniya tekhnologicheskimi processami. Online: <https://ritm.pro/metody-otladki-programm-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-processami> (date of access 27.07.2022)
8. Batrakov S.V., Debrukov E.I., Efimov V.A., Romanova T.V., Chernego V.A., Chernyh V.P., SHaleninov A.A. Tekhnologiya proektirovaniya i otladki programmno obespecheniya sistemy upravleniya stendovoj YAEU s ispol'zovaniem instrumental'no-programmnyh kompleksov modelirovaniya. Tekhnologii obespecheniya zhiznennogo cikla YAEU, No. 1(7), 2017. P. 26-38
9. Okol'nishnikov V.V. Ispol'zovanie imitacionnogo stenda pri razrabotke sistem avtomatizirovannogo upravleniya. Problemy informatiki, No. 1, 2008. P. 75-79
10. Udalennaya razrabotka JetBrains. Online: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/remote-development/#behind-the-scenes> (date of access 27.07.2022).
11. Programmnoe obespechenie i oborudovanie dlya udalenoj raboty. Online: <https://softline.ru/about/blog/programmnoe-obespechenie-i-oborudovanie-dlya-udalenoj-raboty> (date of access 27.07.2022).
12. Pavin A., Inzartsev A., Eliseenko G. Reconfigurable Distributed Software Platform for a Group of UUVs (Yet Another Robot Platform). Proceedings of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Conference & Exhibition, Monterey, California, USA, September 19-23.
13. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya EVM No. 2019610890 RF. Programmaya platforma dlya informacionnogo vzaimodejstviya funkcional'nyh komponentov v robototekhnicheskikh sistemah. Eliseenko G.D., Pavin A.M., Inzarcev A.V., Sidorenko A.V.; pravoobladatel' FGBUN IPMT DVO RAN – No. 2018665497; zayavl. 27.12.2018; opubl. 18.01.2019, Byul. No. 1.
14. S-Terra shlyuz. Online: <https://www.s-terra.ru/products/catalog/s-terra-shlyuz-4-3/> (date of access 06.07.2022)
15. Eliseenko G.D. Metod otladki kontrol'no-avarijnnoj sistemy ANPA s ispol'zovaniem scenarijev razvitiya avariynnyh situacij. Materialy vos'moj vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Tekhnicheskie problemy osvoeniya mirovogo okeana» (TPOMO-8), Vladivostok, 1–4 October 2019. P. 287-291

About the authors

INZARTSEV Alexander Viacheslavovich, doctor of engineering, chief researcher
Institute of Marine Technology Problems Far East Branch of RAS

Address: 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5A.

Research interests: autonomous underwater vehicle; information and control system; software architecture; robot's mission; mission planning; formation of robot's behavior

Phone: 8(423)2215545, plus 616

E-mail: inzar@marine.febras.ru

ORCID: 0000-0002-1842-9951

PAVIN Alexander Mikhailovich, Ph.D., leading researcher
Institute of Marine Technology Problems Far East Branch of RAS

Address: 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5A.

Research interests: underawter vehicle control system, technical vision system, signal processing, sonar systems

Phone: 8(423)2215545, plus 510

E-mail: pavin@bk.ru

ORCID: 0000-0001-8878-7888

ELISEENKO Grigory Dmitrievich, researcher
Institute of Marine Technology Problems Far East Branch of RAS

Address: 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5A.

Research interests: underawter vehicle control system, software architecture

Phone: 8(423)2215545, plus 515

E-mail: eliseenko@marine.febras.ru

ORCID: 0000-0003-0386-0068

PASHKEVICH Ivan Vladimirovich, chief specialist State Research Center of the Russian Federation
Concern CSRI Electropribor, JSC

Address: 30, Malaya Posadskaya str., Saint Petersburg 197046, Russia

Research interests: underwater acoustics, robot's control systems

Phone: +7(911)9330006

E-mail: iv@bk.ru

ORCID: 0000-0002-6706-5592

