

КОМПЛЕКСНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АНПА НА БАЗЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

А.В. Инзарцев, А.В. Сидоренко,
Р.А. Сенин, В.Ю. Матвиенко

Институт проблем морских технологий
ДВО РАН, Владивосток

Рассматриваются вопросы использования имитатора оборудования (ИО), являющегося частью разрабатываемого в ИПМТ ДВО РАН моделирующего комплекса для отладки программного обеспечения АНПА. ИО может реализовываться как программным, так и программно-аппаратным образом, и позволяет организовать имитацию информационного обмена с устройствами бортового оборудования АНПА с учетом особенностей работы каждого из них. При этом ИО описывает электрические параметры всех датчиков, исполнительных устройств и взаимосвязи между ними, а показания датчиков формируются программами моделирования внешней среды комплекса. ИО ориентирован на организацию тестирования программ нижнего уровня (драйверов) и программ контрольно-аварийной системы АНПА.

ВВЕДЕНИЕ

Результаты функционирования автономных подводных аппаратов (АНПА) в большой степени зависят от надежности их программного обеспечения. До начала морских испытаний и эксплуатации система управления (СУ) АНПА должна быть всесторонне проверена в лабораторных условиях. Для решения подобных задач, как правило, применяются имитационные моделирующие комплексы (МК), с помощью которых проводят тестирование используемых алгоритмов управления в условиях «виртуальной реальности». Подобные комплексы позволяют проводить проверку методов планирования траекторий и организации движения АНПА с учетом функциональных возможностей последнего, его динамических и кинематических свойств, целевого назначения и характеристик подводной обстановки [1-3].

В качестве примера можно привести комплекс AUV Workbench [6], который использовался при разработке AUV «REMUS» для визуального планирования пространственных сцен и проверки миссий. Другим примером может служить программный комплекс SubSim [7], предназначенный для использования в образовательных учреждениях и повышения интереса к подводной робототехнике. К числу близких по назначению объектов можно отнести тренажерные комплексы и многофункциональные исследовательские стенды, создаваемые для отработки различных задач морской техники. В этом отношении можно отметить разработки, выполненные в НИИ специального машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана [8], в Институте проблем управления РАН [9].

Подобные же задачи решаются проектировщиками космической техники. В частности, в РКК «Энергия» разработан

и используется программно-аппаратный комплекс для моделирования полета международной космической станции (МКС) [10,11]. В отличие от упомянутых выше данный комплекс использует значительное количество аппаратных модулей для приближения к «реальности» процесса моделирования. Комплекс также используется для верификации документации и отработки действий экипажа путем введения различных нестандартных ситуаций.

Парадигма создания сложных программных систем предполагает, что на каждом этапе процесса разработки должна получаться работающая система (естественно, с постепенно увеличивающимся уровнем функциональности). Это означает, что разработчики системы должны иметь возможность проводить тестирование получаемого на каждом этапе кода с применением средств, позволяющих проводить отладку компонентов любого уровня.

В известных программных платформах, использующихся для создания СУ роботов (например, Player/Stage [12], CARMEN [13]), функции симулятора являются встроенными в саму платформу и позволяют проводить моделирование всего комплекса СУ в процессе разработки. Однако подобные платформы ориентированы на применение в наземных подвижных роботах, использование стандартного оборудования и не моделируют специфику работы самих сенсоров.

Описанные выше подходы гарантируют отладку высокоуровневых «интеллектуальных» алгоритмов. Однако программное обеспечение (ПО) СУ АНПА, например его исполняющий уровень [3], включает большое количество низкоуровневых компонент (драйверы, вспомогательные программы и т.п.). Реализация и характеристики этих компонентов напрямую зависят от используемого оборудования, а их адекватная и правильная работа является базисом для правильного функционирования всего ПО АНПА. Как правило, разработка программного обеспечения для АНПА производится ещё до изготовления реального образца аппарата. Возможность ранней проверки поведения разрабатываемой программной системы на реальном оборудовании, а также при сбоях и ошибках этого оборудования крайне важна. Кроме того, использующийся моделирующий комплекс должен обеспечить отладку работы контрольно-аварийной системы (КАС) робота и как следствие – детальную проверку всего комплекса программного обеспечения при возникновении нештатных ситуаций.

Решением проблемы может являться сопряжение «интеллектуального» моделирующего комплекса с имитатором оборудования (ИО). Последний призван имитировать работу сети

микроконтроллеров АНПА, обслуживающих все бортовые устройства с присущими временными характеристиками информационного обмена. При этом имеется возможность:

- проверить корректность функционирования нижнего уровня системы управления (драйверов);
- смоделировать разнообразные аварийные ситуации в бортовом оборудовании АНПА и соответственно реакцию на них КАС АНПА.

Комплекс для эффективной отладки алгоритмов управления АНПА развивается в ИПМТ ДВО РАН. К отличительным особенностям комплекса можно отнести широкий спектр моделируемых данных, а также возможность проведения отладки разрабатываемых алгоритмов непосредственно в среде системы управления выбранного АНПА [4, 5]. Возможности комплекса в плане ранней отладки СУ АНПА могут быть существенно расширены за счет сопряжения данного комплекса с ИО.

■ Имитатор оборудования

В существующем варианте отладки программного обеспечения АНПА драйверы устройств напрямую связываются с моделирующим комплексом [4]. Как уже отмечалось выше, при этом проверяется ПО, использующее данные от драйверов, в то время как сами драйверы всесторонне не проверяются.

Для решения этой проблемы ИО используется как промежуточное звено для связи моделирующего комплекса и СУ АНПА. Функционально ИО входит в состав блока «Модель АНПА. Бортовое оборудование» [4] и обеспечивает двухсторонний обмен информацией между указанным блоком и средой системы управления АНПА. При этом обмен информацией осуществляется на уровне данных, циркулирующих в борто-

вой сети микроконтроллеров АНПА. Для этого в состав ИО включены интерфейсы и программная модель оборудования (ПМО). В состав последней входят анализаторы команд датчиков, а также программные модули, фиксирующие состояние каждого из имитируемых датчиков (рис. 1). ПМО является статической программной средой, отображающей текущее состояние моделей оборудования АНПА, которое изменяется только под воздействием внешних команд. При изменении состояния ПМО учитывает электрические взаимосвязи между реальными устройствами.

В зависимости от цели моделирования может использоваться ИО, который реализуется как программным, так и программно-аппаратным образом. В программно-аппаратном ИО реализованы последовательные интерфейсы (USB, RS-485, CAN), а в программном ИО – их имитаторы. По интерфейсам RS-485 и CAN ведется информационный обмен ИО с драйверами, что соответствует имитации обмена с реальным оборудованием. Интерфейс USB используется имитатором оборудования для обмена данными с моделирующим комплексом. Данные от драйверов и МК принимаются соответствующим интерфейсом ИО и передаются на анализатор команд нужного устройства, который меняет состояние ПМО в соответствии с логикой работы устройства и его влияния на другие устройства. Например, анализатор пересчитывает токи двигателя в случае, если поступившая команда меняет величину управления на двигатели. Для имитации протекания некоторых процессов (реализация различных задержек, формируемых реальными контроллерами, имитация заряда/разряда батареи) анализатор использует таймер.

В настоящее время ИО позволяет имитировать обмен в

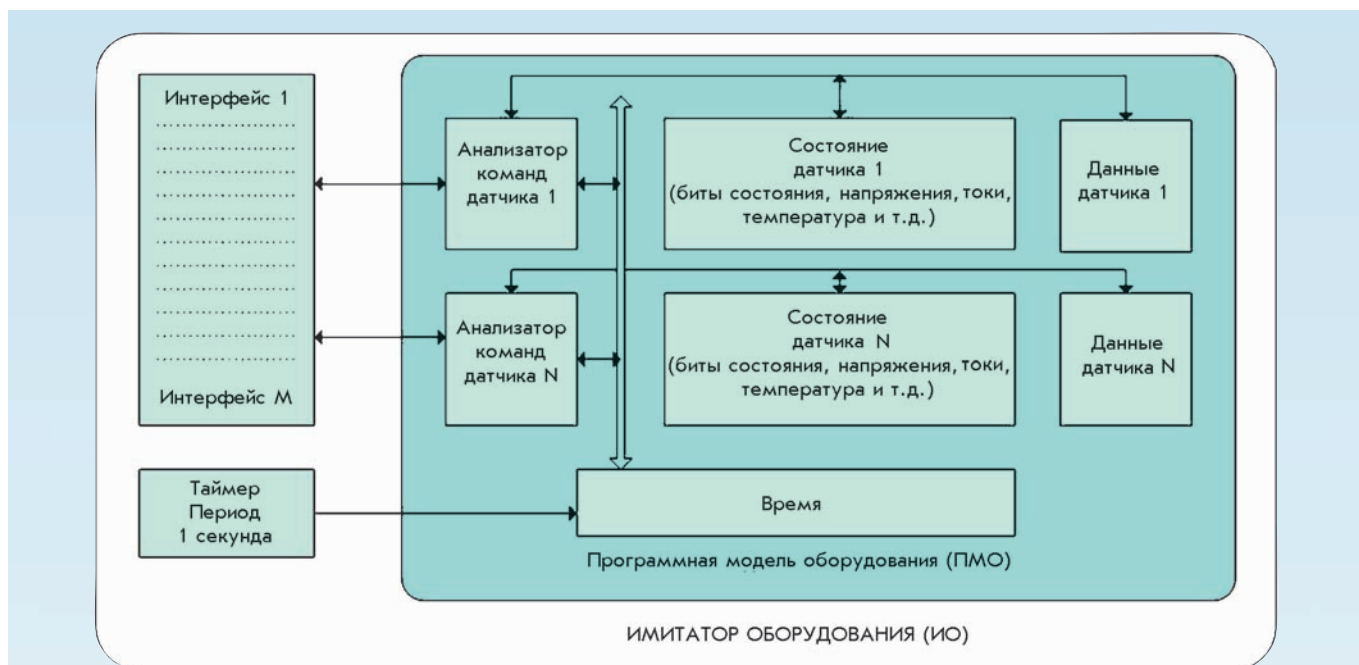


Рис. 1. Структура программного имитатора оборудования

реальном времени с моделями всех устройств, входящих в состав локальной сети реального АНПА (более 20 моделей).

На рис. 2 приведена схема взаимодействия ИО и остальных компонентов моделирующего комплекса. Обмен данными между ними происходит следующим образом.

- СУ АНПА с периодом цикла управления формирует вектор управления, который драйверами устройств и аппаратных интерфейсов преобразуется в поток команд и данных, поступающих через преобразователь интерфейса (последовательный канал) в ИО.

- В свою очередь, Коммуникатор через драйверы аппаратных интерфейсов с гораздо большей частотой опрашивает ИО и транслирует коды управления в МК для использования в модели динамики АНПА.

- Модель динамики формирует вектор состояния АНПА для следующего момента времени.

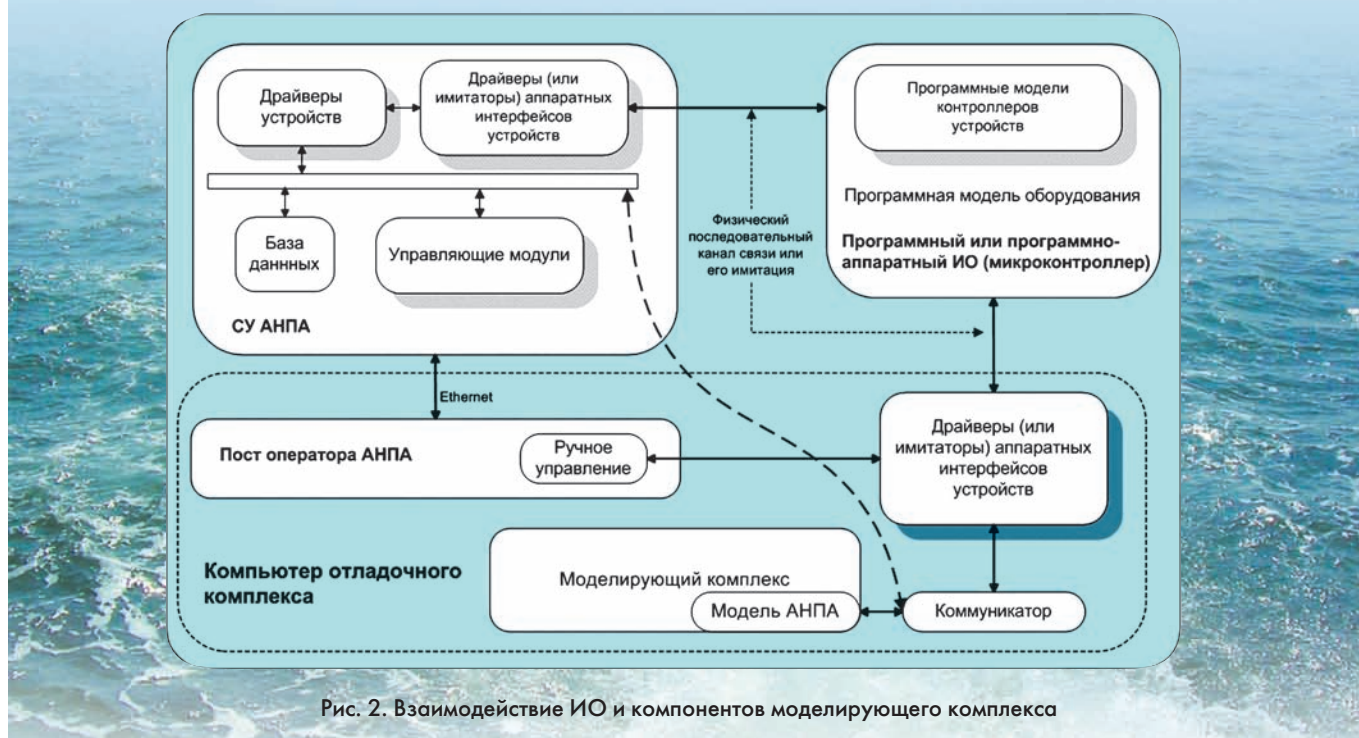


Рис. 2. Взаимодействие ИО и компонентов моделирующего комплекса

При этом моделью внешней среды формируются также показания датчиков АНПА для этого момента времени (показания локаторов, датчиков температуры, электропроводности, очередная строчка ГБО и т.д.).

- Сформированный пакет данных транслируется Коммуникатором в ИО, где на его основе программные модели устройств формируют полный пакет данных для возврата в СУ АНПА. В указанный пакет включаются данные, специфичные для каждого из устройств и отражающие их внутреннее состояние (например, потребляемые токи, признаки перегрузок и т.п.).

- Полный пакет данных через канал обмена и цепочку драйверов возвращается в СУ АНПА.

■ Методика отладки программного обеспечения с использованием ИО

Рассмотрим два варианта отладки с использованием программного и программно-аппаратного ИО, взаимно дополняющие друг друга.

На первоначальном этапе отладки ПО наиболее удобным для использования является программный вариант ИО. В этом случае весь комплекс программ, включающий моделирующий комплекс, среду системы управления АНПА и ИО может быть реализован на одном компьютере (рис.2). Для организации одновременной работы различных операционных систем в пределах одного компьютера может быть использована виртуальная машина. С использованием такого варианта возможна полная проверка всего разрабатываемого ПО на алгоритмическом уровне, однако без учета ресурсов процессоров реального АНПА и работы аппаратных драйверов. Данный вариант может использоваться вплоть до получения работающего и протестированного кода

всего комплекса программного обеспечения системы управления АНПА.

На заключительном этапе необходима проверка работы всего ПО на реальном оборудовании АНПА с учетом временных диаграмм бортовой вычислительной сети и ресурсов процессорных блоков АНПА. Для этого возможно использование программно-аппаратного варианта моделирования, обеспечивающего вычислительную среду, эквивалентную по всем параметрам среде реального АНПА. Данный вариант используется для длительных прогонов всего комплекса ПО, а также для выявления «тонких эффектов», связанных с работой реального оборудования. Для организации такого режима используется ИО, реализованный на микроконтроллере (рис. 3), аналогичном используемому в аппарате для реализации преобразователя интерфейса (моста) [3].

Кроме того, для приближения временных диаграмм к реальной программная среда системы управления выполняется на отдельном процессоре

(процессорах), которые полностью аналогичны используемым в АНПА. ИО в этой схеме работает так, что моделирующие программы не вносят временных задержек в процесс обмена данными/командами между драйверами устройств и ИО. На рис. 2 для этого случая среда моделирующего комплекса ограничена штриховой замкнутой линией. Схемы этих двух вариантов очень похожи, поэтому выделим их принципиальные различия.

- Программно-аппаратный имитатор является отдельным устройством и соединен с компьютерами аппаратными интерфейсами. Создание такого имитатора - непростая задача с программной и аппаратной точек зрения. Для упрощения решения в качестве ИО используется готовый мост с доработанным ПО.

- При работе с программным вариантом имитатора драйверы, обслуживающие аппаратные интерфейсы (RS232, USB), заменяются на драйверы-имитаторы. При написании и отладке таких драйверов задача упрощается тем, что нет

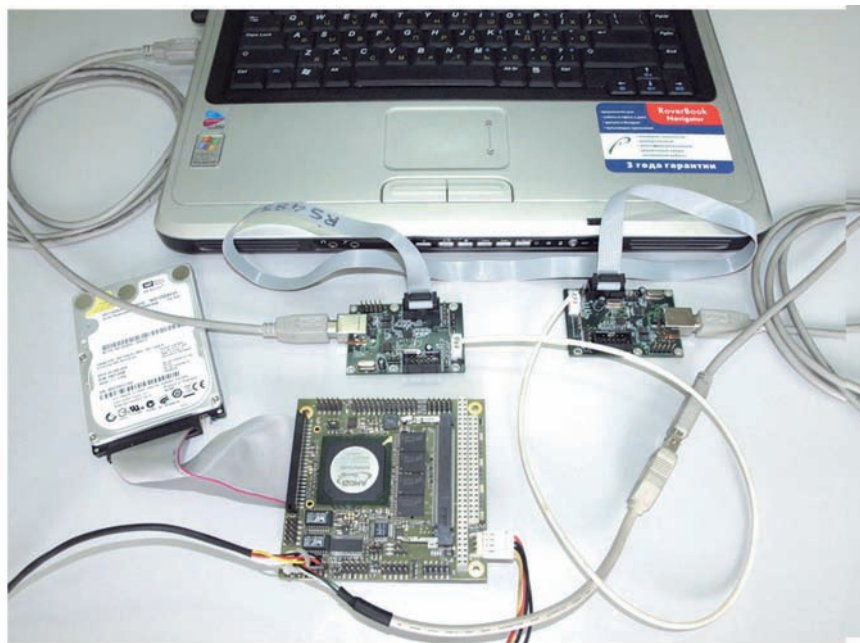


Рис. 3. Программно-аппаратный ИО и бортовой вычислитель АНПА, подключенные к компьютеру моделирующего комплекса

необходимости учитывать аппаратные особенности этих интерфейсов и специфику АНПА.

Рассмотрим назначение некоторых элементов используемого отладочного стенда (рис. 2):

- *Драйвер устройства* – получение данных от устройства и информации о его состоянии, управление устройством, передача данных от устройства потребителям.

- *Драйвер аппаратного интерфейса устройства* – передача/прием сообщений от драйвера устройства и передача/прием сообщений по аппаратному интерфейсу.

- *Имитатор драйвера аппаратного интерфейса устройства* – передача/прием сообщений от драйвера устройства. Передача/прием сообщений по программному интерфейсу (вызов функции программного интерфейса ИО).

- *ИО* – принимает сообщения от драйверов и программ имитации, реализует виртуальные устройства.

- *Пост оператора* – набор оконных приложений, обеспечивающий подготовку и запуск миссии АНПА, тестирование АНПА, обработку результатов выполнения миссии.

- *Ручное управление* – набор оконных приложений, обеспечивающий возможность задания любых возможных состояний модели устройств. Применяется для проверки реакции системы управления на аварийные или нештатные ситуации. Может также использоваться для тренировки оператора АНПА, для создания нештатных ситуаций.

- *Моделирующий комплекс* – программный комплекс, содержащий модели внешней среды и динамики АНПА. Для связи с остальными частями комплекса использует механизм обмена сообщениями на базе ТСР/IP.

- *Коммуникатор* – организует обмен данными между моделями устройств и модели-

рующим комплексом. В коммуникаторе данные от МК пере считываются во внутренние единицы моделей устройств и передаются в соответствующие модели. Коммуникатор может быть непосредственно связан с системой управления (рис. 2 – штриховая линия). Этот упрощенный вариант применяется в настоящее время и позволяет отлаживать алгоритмы управления, не используя драйвера и модель оборудования.

■ Примеры работы комплекса с использованием программного ИО

В качестве примеров рассмотрим несколько вариантов использования ИО для отработки различных аспектов эксплуатации АНПА и отладки его программного обеспечения.

Проверка КАС АНПА

Для проверки ПО контрольно-аварийной системы АНПА всё необходимое программное обеспечение было запущено на виртуальной машине по схеме, приведенной на рис. 2.

Цель работы заключалась в проверке реакции СУ АНПА на различные нештатные ситуации. Для этого отладочная миссия АНПА многократно запускалась в имитационном режиме, и с помощью утилит из пункта «Ручное управление» создавались различные ситуации, которые невозможно получить на реально работающих исправных устройствах:

- изменение токов, напряжений, температуры, выход этих параметров за допустимые пределы;

- установка различных битов аварии в слове состояния.

В результате эксперимента были составлены сводные таблицы реакций системы управления АНПА на эти факторы, а также временных характеристик (задержка реакции СУ при возникновении и при пропада-

нии фактора). На основе этих таблиц были внесены коррективы в режимы работы КАС. Стоит отметить, что проверку контрольно-аварийной системы могут проводить независимо несколько специалистов, не имеющих непосредственного отношения к разработке ПО СУ, что повышает надежность тестирования.

Отладка системы отображения результатов диагностики

Параллельно с проверкой КАС проводилось тестирование системы диагностики с целью своевременного и правильного отображения аварийных состояний на схеме аппарата для привлечения внимания оператора.

На рис. 4 показан фрагмент выполнения миссии АНПА в тот момент, когда с помощью программы управления моделью в ИО была послана команда «установить бит ошибки состояния доплеровского лага». Система управления получила это состояние через всю цепочку штатных драйверов и интерфейсов. Та же авария была зафиксирована приложением диагностики – СУ отобразила аварийное состояние датчика (“DL_dev_error”), а на схеме АНПА датчик был выделен красным цветом.

Тренировка операторов АНПА

Отладочный стенд (рис. 2) может быть с успехом использован в качестве тренажёра для операторов АНПА. Перед оператором-стажёром стоят следующие задачи:

- проверить работоспособность аппарата;
- написать миссию и просимулировать её;
- контролировать ход выполнения миссии в реальных условиях;
- анализировать как результаты выполнения миссии, так и поведение аппарата.

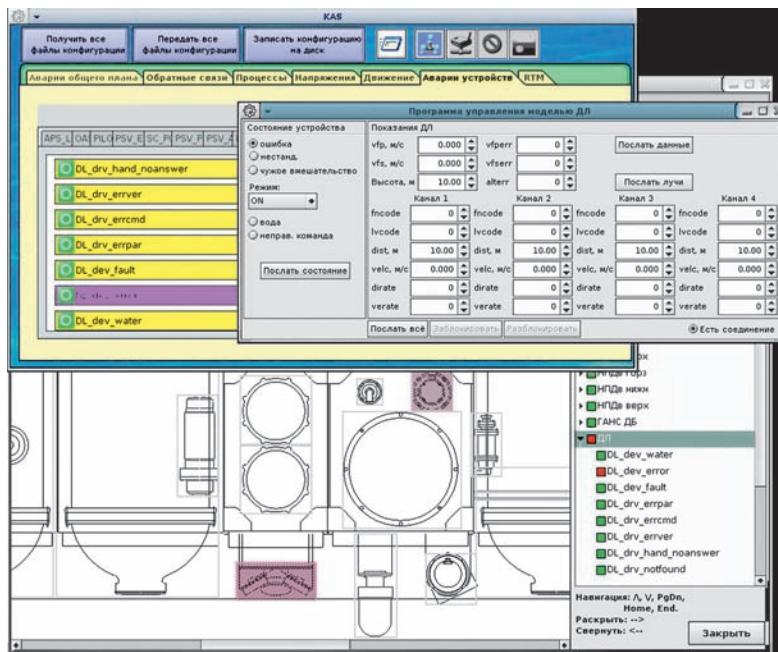


Рис. 4. Фрагмент проверки ПО СУ с помощью ИО

Цель тренировки операторов – научить стажёра правильно разбираться и реагировать на нештатные ситуации. Для этого написанная стажёром миссия выполняется с использованием моделей динамики аппарата и внешней среды. Инструктор, возможно, находясь в другом помещении, с помощью ИО создает аварийные или нештатные ситуации на борту АНПА. К примеру, инструктор может изменить значение плавучести в модели динамики АНПА или

вывести из строя один из маршевых двигателей. Стажёр по данным телеметрии должен понять, какого рода нештатная ситуация произошла и, по возможности, попытаться исправить её имеющимися в распоряжении оператора АНПА средствами (посылкой команд телеуправления). Далее, после «подъема аппарата на борт», стажёр должен детально разобраться в ситуации по данным бортового журнала и накопителя данных и локализовать неисправность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время моделирующий комплекс интенсивно развивается. Применение двух вариантов программного имитатора оборудования позволяет использовать моделирующий комплекс не только как средство отладки высокоуровневых «интеллектуальных» алгоритмов, но и как средство всестороннего тестирования программного обеспечения робота на всех этапах разработки. Это позволяет проверить поведение алгоритмов в условиях возникновения возможных нештатных ситуаций, а

также провести тестирование контрольно-аварийной системы робота. При использовании моделирующего комплекса в качестве тренажера оператора АНПА появляется возможность для отработки оператором различных нештатных ситуаций, связанных со сбоями в работе бортового оборудования.

В заключение авторы выражают признательность Багницкому А.В. за предоставленную полезную информацию, использованную в данной работе.

Работа выполнена при поддержке гранта конкурса ДВО РАН № 09-III-A-01-006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автономные подводные роботы: системы и технологии / Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др.; под общ. ред. акад. Агеева М.Д. М.: Наука, 2005. 398 с.
2. Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В. Создание интеллектуальных АНПА и проблемы интеграции научных исследований // Подводные исследования и робототехника. 2006. №1. С. 6-17.
3. Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Сидоренко А.В., Хмельков Д.Б. Архитектурные конфигурации систем управления АНПА // Подводные исследования и робототехника. 2006. №1. С.18-30.
4. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Медведев А.В. и др. Разработка имитационного моделирующего комплекса для решения задач «интеллектуального» управления АНПА // Матер. 2-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения Мирового океана». Владивосток, 2007. С.70-76.
5. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Медведев А.В. и др. Имитационный моделирующий комплекс для «интеллектуального» автономного подводного робота // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №2. С. 46-52.
6. Brutzman D., Weekley J. NPS AUV Workbench: Rehearsal, Reality, Replay for Unmanned Vehicle Operations. Monterey, California: Naval Postgraduate School (NPS), 2007. 125 p.
7. SubSim User's Manual. The University of Western Australia. <http://robotics.ee.uwa.edu.au/auv/subsim/doc/About.html>.
8. Вельтищев В.В., Барзионов В.В., Горошков И.С., Засорин А.В. Тренажерный комплекс для подготовки операторов подводных аппаратов // Оборонная техника. 2001. № 8-9. С.75-80.
9. Дорри М.Х., Корчанов В.М., Острцов Г.Э., Роцин А.А. Принципы разработки полномасштабных исследовательских стендов и пути их реализации на программном комплексе РДС // Сб.тр.32-й Всерос. конф. по управлению движением. М.: ИПУ РАН, 2006.
10. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 336 с.
11. Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В., Платонов В.Н. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / Под ред. Е.А. Микрина; Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН. М.: Наука, 2006. 579 с.
12. Описание платформы Player/Stage. <http://playerstage.sourceforge.net/index.php?src=doc>
13. Описание платформы CARMEN. <http://carmen.sourceforge.net/>