

**ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОТЛАДКИ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПО БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**© 2016 С.И. Елькин¹, К.В. Ларин¹, В.В. Шишкин²¹ АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»² Ульяновский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 17.10.2016

В статье описана организация системы интерактивной визуализации виртуального стенда БИУС. Приведена архитектура комплекса отладки и системного тестирования с использованием системы интерактивной визуализации и других компонентов виртуального стенда.

Ключевые слова: бортовая информационно-управляющая система, отладка программного обеспечения, виртуальный стенд, моделирование.

ВЕДЕНИЕ

В статье описывается расширение функциональности системы отладки и тестирования функционального ПО (ФПО) бортовых информационно-управляющих систем (БИУС) авиационного применения. Актуальность задачи определяется сложностью отладки распределенных систем, а также особенностями цикла проектирования компонентов бортовых вычислительных комплексов.

ВИРТУАЛЬНЫЙ СТЕНД

В работах [1] и [2] представлен вариант решения задачи опережающей системной отладки функционального ПО БИУС в отсутствие готовности штатной аппаратуры. Среда отладки представляет собой виртуальный аналог стенда полунатурного моделирования (СПМ), традиционно используемого для системной отладки ФПО и комплексного тестирования. Виртуальный стенд (ВС) является программной исполняемой моделью СПМ, реализуемой на основе взаимодействия исполняемых моделей компонентов системы в условиях потока тестовых данных. При этом средой взаимодействия компонентов служит программно конфигурируемая исполняемая модель (симулятор бортовых шин [3]) шинной структуры комплекса бортового оборудования (КБО). Симулятор бортовых шин предоставляет участникам взаимодействия пул виртуальных каналов, соответствующий по составу и топологии реальной шинной структуре КБО в части подключения БИУС. Интерфейс доступа к каналам соответствует интерфейсу штатных прото-

Елькин Сергей Иванович, ведущий программист.

E-mail: serge178@mail.ru

Ларин Кирилл Валентинович, кандидат технических наук, главный конструктор. E-mail: lucky@ukbp.ru

Шишкин Вадим Викторович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы». E-mail: shvv@ulstu.ru

колов межблочного информационного обмена. В качестве исполняемых моделей компонентов БИУС выступают приложения, представляющие собой отладочные сборки ФПО. Поддержка симулятором бортовых шин бортовых протоколов обмена обеспечивает возможность включения ФПО в отладочные сборки без какой-либо его модификации. Поток тестовых данных обеспечивается программируемым симулятором внешних систем [4], взаимодействующим с остальными компонентами ВС по виртуальным каналам симулятора бортовых шин. Это позволяет использовать описываемую исполняемую модель СПМ целевой системы не только для системной отладки ФПО, но и как платформу подготовки квалификационных системных тестов.

В состав ВС входит интерактивное приложение визуализации – системный монитор (СМ), обеспечивающее графическое представление структуры и состава проектируемой системы с использованием мнемонических символов и псевдореалистических изображений органов управления экипажа. Состояние компонентов системы отображается в табличном виде с детализацией до уровня сигналов. Интерактивные средства СМ обеспечивают имитацию управляющих воздействий экипажа, асинхронных событий неисправности линий связи и компонентов системы, а также возможность ручного задания значений сигналов.

Предусмотрена инструментальная поддержка развертывания ВС для нового проекта БИУС. В состав инструментальной системы входят библиотека графических повторно используемых компонентов (ПИК), набор параметризуемых проектных шаблонов и набор средств генерации, обеспечивающих автоматизированное конфигурирование симулятора бортовых шин и построение отдельных модулей проекта системного монитора. В качестве исходных данных для средств генерации используются спецификации топологии каналов межблочного обмена и спецификации сигналов из состава проектных требований.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Практика применения ВС выявила недостаточность реализованных в его составе средств визуализации при отладке ФПО систем такого подкласса БИУС как бортовые управляющие системы. В системах этой группы, в отличие от систем электронной индикации, отсутствуют как встроенные средства отображения информации, так и органы управления экипажа. Эти системы предназначены для автоматического контроля параметров сопрягаемого бортового оборудования и формирования управляющих воздействий на его исполнительные устройства и, по существу, представляют собой бортовые системы промышленной автоматики. С учетом их распределенной организации, хорошим примером визуализации состояния компонентов можно считать системы SCADA, обеспечивающие представление состава, состояния и, до известной степени, внутренней организации удаленных источников данных с применением мнемонических символов фильтров, заслонок, реле и т.д. Однако, технологии SCADA не могут быть механически перенесены на предметную область БИУС. В отличие от SCADA систем, для которых платформа проектирования совпадает с платформой эксплуатации, целевой платформой БИУС как встроенных систем являются штатные бортовые вычислители. Кроме того, для SCADA систем детализация состояния компонентов проектируемой системы до уровня отдельных сигналов является частью заданной функциональности и предусматривается проектными требованиями. Для бортовых же систем эта информация имеет статус отладочной, и включение фрагментов ее обработки и визуализации в функциональный код допустимо лишь на этапе автономной отладки ФПО компонентов. При переходе к системной отладке и комплексному тестированию все фрагменты технологического кода подлежат исключению из состава ФПО.

К важнейшим показателям качества работы БИУС как управляющих систем относятся время отклика. С учетом большого числа как входных, так и выходных параметров, а также высокой динамики их изменения, весьма полезным для оценки функциональности проектируемой системы представляется формирование в реальном времени семейства временных диаграмм сигналов.

Еще одна задача, которую важно иметь в виду при проектировании инструментальных средств тестирования – необходимость преодоления так называемого «парадокса тестирования». Суть его состоит в несоответствии методологий тестирования и мощности тестовых множеств, применяемых для случаев:

- приемочного тестирования (доказательство, что разработанная система работает), рис. 1.а;

- системной отладки, одной из задач которой является выявление «узких мест» ФПО (доказательство, что система не работает).

Наиболее целесообразным решением представляется использование на этапе системной отладки тестовых векторов, подготавливаемых для приемочного тестирования, с применением приемов методологии внесения неисправностей (Software Implemented Fault Injection - SWIFI) – обеспечением интерактивного задания значений и признаков достоверности сигналов. Это иллюстрируется рис. 1.б).

Таким образом, в качестве вывода можно сформулировать перечень дополнительных требований к системе визуализации:

- ввиду невозможности использования ФПО в технологических целях, источником информации о состоянии компонентов проектируемой распределенной системы на этапе системной отладки и комплексного тестирования является поток межблочного информационного обмена;

- представление состояния сопрягаемых систем бортового оборудования должно предусматривать детализацию до уровня отдельных сигналов входного и выходного интерфейсов, а также отображение временных характеристик процессов обработки информации и взаимодействия компонентов в виде осциллограмм сигналов;

- при визуализации сигналов межблочного информационного обмена должна быть обеспечена возможность интерактивного воздействия на значения их атрибутов (амплитуды и достоверности).

Этот перечень целесообразно дополнить положениями, ориентированными на обеспечение технологичности ее использования в пределах всего семейства БИУС:

- возможность применения как при автономной, так и при системной отладке ФПО, а также на этапе комплексного тестирования;

- быстрое развертывание на начальном этапе реализации целевого проекта.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИНТЕРАКТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Структура системы интерактивной визуализации, разработанная на основе сформулированных выше требований, представлена на рис. 2.

Компоненты интерактивного графического интерфейса – системный монитор, предназначенный для представления состава и структуры проектируемой БИУС, и монитор внешних систем, обеспечивающий отображение состояния моделей сопрягаемых подсистем бортового оборудования. Эти компоненты имеют идентичную каркасную структуру. Модули представления, реализующие построение изображения, являются

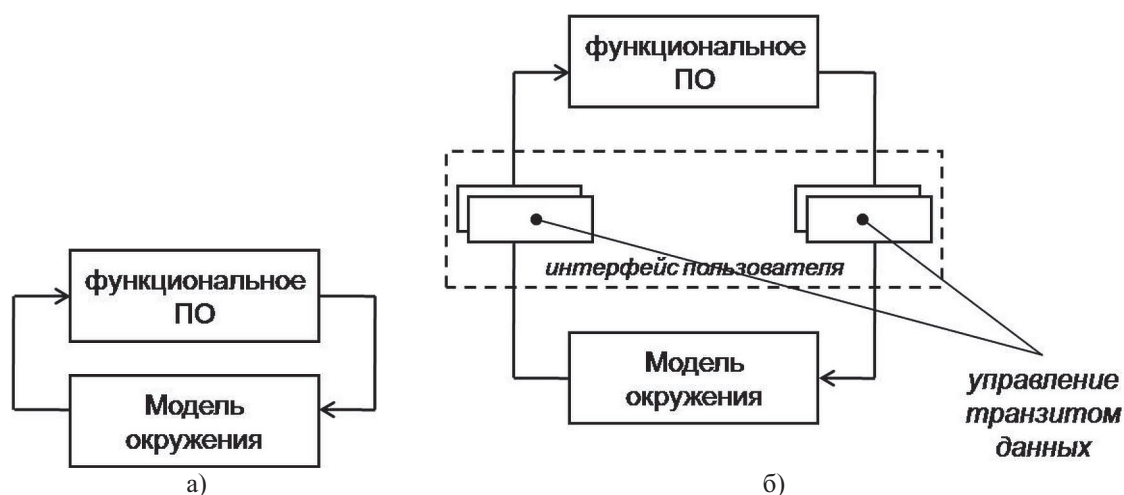


Рис. 1. Схемы взаимодействия функционального ПО и модели окружения для случаев: а – приемочного тестирования; б – интерактивной системной отладки

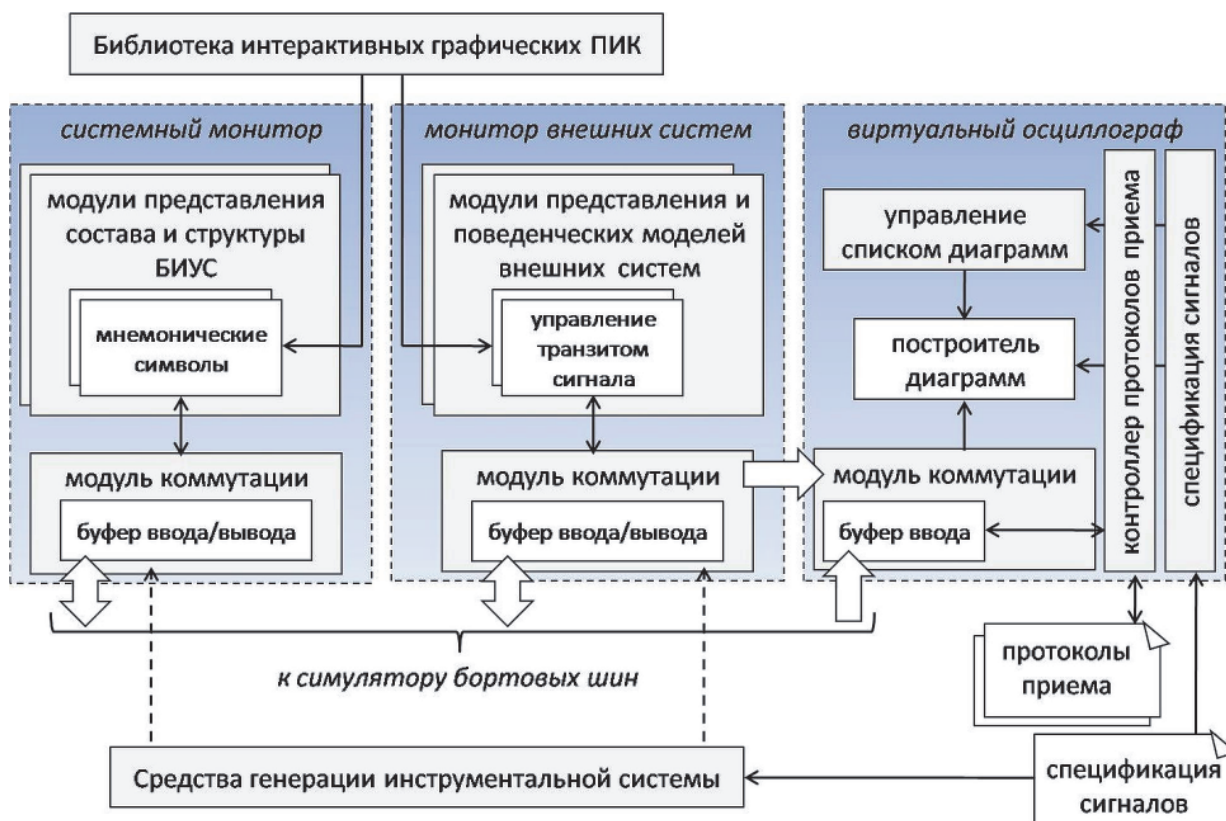


Рис. 2. Структура системы интерактивной визуализации

контейнерами для интерактивных графических ПИК. В составе проекта системного монитора это – мнемонические символы, используемые для обозначения «черных ящиков» компонентов распределенной системы и портов ввода-вывода. В проекте монитора внешних систем это – элементы интерфейса пользователя в реализации ручного изменения текущих значений сигналов. Они соответствуют элементам управления транзитом данных на рис.1.б. В составе проекта также включены модули поведенческих моделей внешних систем. Их наличие обеспечивает дополнительный, альтернативный симулятору внешних систем источник потока тестовых дан-

ных, использование которого может быть целесообразным на отдельных этапах отладки ФПО.

Модуль коммутации связывает переменные интерфейса интерактивных компонентов с соответствующими байтами буферов ввода/вывода, подключенных к виртуальным каналам симулятора бортовых шин. При изменении значений переменных интерфейса интерактивных компонентов или поступлении обновленных данных в буферы также обеспечивается выполнение процедур упаковки/распаковки с учетом веса старшего разряда для аналоговых сигналов и битовой маски для дискретных сигналов и разовых команд. Для обеспечения эффективности работы

модуля коммутации в алгоритме его реализации используются служебные массивы указателей в функции кросс-таблиц. С учетом значительного числа сигналов и доступности их спецификаций, как и спецификаций структуры буферов ввода/вывода к моменту проектирования, представляется очевидной целесообразность применения автоматической генерации согласованных спецификаций структур данных, включая спецификации служебных массивов. Наряду с применением библиотеки интерактивных графических ПИК, это позволяет свести к минимуму объем ручного проектирования при разработке компонентов мониторов оператора, ограничив его дизайном представления и сборкой каркаса.

Компонент системы визуализации виртуальный осциллограф реализует функциональность многоканального осциллографа, при этом поток отображаемых данных формируется сторонним функциональным приложением. В отличие от известных разработок [5], предназначенных для отображения оцифрованных значений реальных электрических сигналов, виртуальный осциллограф обеспечивает отображение параметров, распространяемых в упакованном виде в составе информационных пакетов, структура которых определяется используемым штатным протоколом межблочного обмена, и недоступных для непосредственной регистрации.

Предусмотрены следующие режимы работы приложения: автономный, с управлением от функционального приложения и совмещенный.

В автономном режиме источником данных для отображения является поток информационного обмена через симулятор бортовых шин. Реквизиты приложения как абонента симулятора бортовых шин, задаются в его инициализационном файле. Перечень потенциально отображаемых сигналов с детализацией источника (адрес группы байтов в буфере ввода/вывода), параметры интерпретации (число битов, вес старшего разряда) и т.д. задаются во внешнем файле (обозначен на рис. 2. как спецификация сигналов), загружаемом при запуске приложения. Список действительно отображаемых сигналов определяется пользователем с помощью встроенных средств настройки компонента и может быть сохранен в инициализационном файле приложения.

Режим с управлением от функционального приложения (ФП) предназначен для применения при автономной отладке ФПО. Как список отображаемых сигналов, так и поток данных задаются ФП.

Совмещенный режим обеспечивает отображение сигналов двух потоков данных – потока по виртуальным каналам симулятора бортовых шин и выходного потока функционального приложения. При этом используется внешняя

спецификация сигналов и настройка списка отображения, как в автономном режиме. Сигналы же от ФП отображаются дополнительным «лучом», отличающимся цветом. Это позволяет сопоставить сигналы от двух источников, например, рассматривая один в качестве эталонного.

В приложении виртуального осциллографа реализован ряд сервисных функций, доступных через пункты меню. В их числе сохранение снимков экрана (в целях документирования) в формате JPEG, а также сохранение файла протокола входного потока с возможностью последующего воспроизведения (для анализа поведения проектируемой системы).

На рис. 2. также приведены составляющие инструментальной системы, используемые при проектировании системы визуализации – Средства генерации инструментальной системы и библиотека интерактивных графических ПИК.

АРХИТЕКТУРА КОМПЛЕКСА ОТЛАДКИ И СИСТЕМНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ БИУС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ИНТЕРАКТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Рис. 3. иллюстрирует примеры использования системы интерактивной визуализации при системном тестировании и комплексной отладке ФПО БИУС. На рисунке представлены две конфигурации отладочного комплекса. С момента завершения разработки ФПО системная отладка, подготовка квалификационных тестовых заданий симулятора внешних систем и системное тестирование выполняются на платформе ВС. При этом функциональность проектируемой системы реализуется в ходе информационного взаимодействия отладочных сборок ФПО (обозначены как ФПО БИУС) по виртуальным каналам симулятора бортовых шин. С момента готовности штатной аппаратуры БИУС и аппаратуры СПМ системное тестирование и комплексная отладка переносятся на платформу СПМ с использованием разработанных квалификационных тестовых заданий. Здесь участниками информационного взаимодействия по каналам аппаратной шины выступают натурные образцы аппаратуры БИУС с загруженным ФПО, обозначенные как БИУС. Как видно из рисунка, система интерактивной визуализации доступна в обеих конфигурациях – и полунатурного и виртуального стендов, через интерфейс симулятора бортовых шин.

При автономной отладке ФПО компонент системы визуализации - виртуальный осциллограф, может использоваться как в режиме управления от ФП, так и в минимальной конфигурации ВС во взаимодействии с симулятором внешних систем и симулятором бортовых шин.

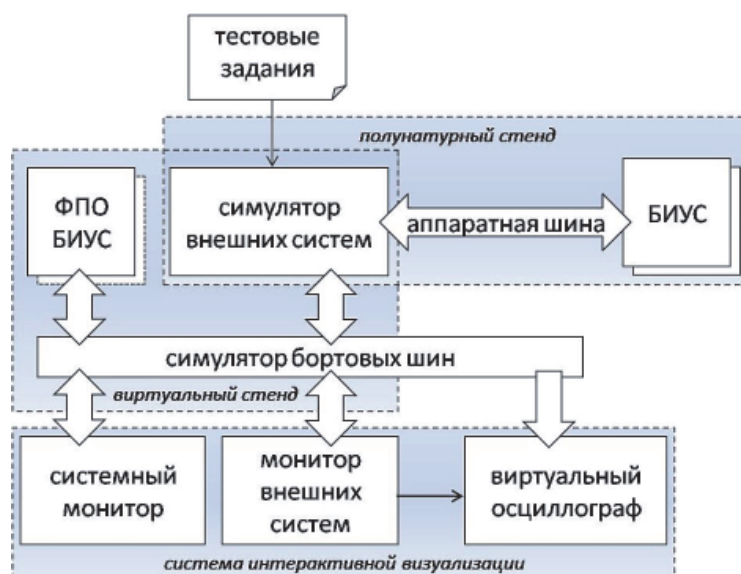


Рис. 3. Структура комплекса отладки и системного тестирования БИУС с использованием системы интерактивной визуализации

РЕАЛИЗАЦИЯ

При проектировании приложения монитора внешних систем, включая разработку повторно используемых интерактивных компонентов и параметризованных шаблонов, использованы инструментальные средства графического проектирования семейства Esterel SCADA 6.4.

Сборочные проекты приложений интерактивной визуализации реализованы в среде Borland C++ Builder 6.0. Компонент, обеспечивающий загрузку спецификации сигналов, при конфигурировании приложения виртуального осциллографа, разработан в среде Visual Studio 2008. В текущей версии в качестве спецификации сигналов используется документ в формате MsExcel 2010. Построение временных диаграмм входных сигналов реализовано средствами OpenGL.

Примеры экранных форм компонентов системы интерактивной визуализации приведены на рис.4. Фрагменты а) и б) иллюстрируют вид приложения монитора внешних систем, используемого при отладке ФПО системы управления общесамолетным оборудованием само-

лета MC-21 – гидравлической системы и системы нейтрального газа соответственно. На рис.4.в) представлен вид приложения виртуального осциллографа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важной эксплуатационной характеристикой представленного ВС является гибкость его применения. Большая часть его компонентов - симулятор бортовых шин, симулятор внешних систем и виртуальный осциллограф полностью настраиваются конечным пользователем. Разработка компонентов системы визуализации – системного монитора и монитора внешних систем – опирается на библиотеку повторно применяемых решений и обеспечена инструментальной поддержкой. Это позволяет оперативно создавать различные конфигурации ВС для применения на различных этапах реализации целевого проекта - автономной отладки ФПО, отладки в составе блоков, системной отладки в составе ВС и комплексного тестирования в составе полунатурного стенда.

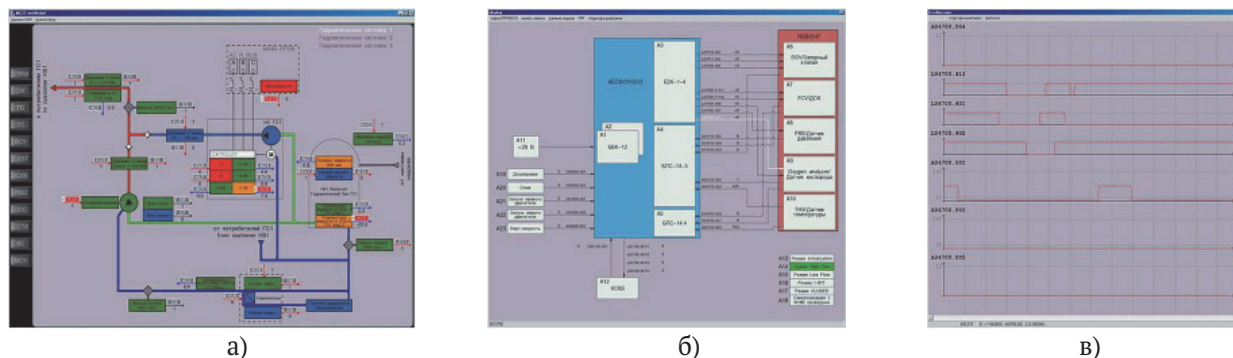


Рис. 4. Экранные формы приложений системы интерактивной визуализации: а – представление состояния гидравлической системы; б – представление состояния системы нейтрального газа; в – виртуальный осциллограф

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларин К.В., Елькин С.И., Шишкин В.В. Виртуальный стенд для отладки информационно-управляющих систем авиационного применения // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Том 2. Казань: «ФЭН» Академии наук РТ. 2013. С. 170-174.
2. Елькин С.И., Ларин К.В., Шишкин В.В. Применение исполняемых моделей для комплексной отладки ПО информационно-управляющих систем авиационного применения // Материалы конференции «Разработка ПО» СЕЕ-SEC[R]. Москва, 2014.
3. Долбня Н.А., Ларин К.В., Шишкин В.В. Методика создания виртуального стенда авиационной бортовой информационно-управляющей системы // Автоматизация процессов управления. 2012. №3 (29). С. 36-41.
4. Шишкин В.В., Черкашин С.В. Автоматизированная система создания диагностического обеспечения комплексных систем электронной индикации и сигнализации летательных аппаратов / В.В. Шишкин // Датчики и системы. 2007. №12. С.39-42
5. Модульные цифровые осциллографы National Instruments. URL: <http://engineering-solutions.ru/products/ni/oscilloscopes> (дата обращения 12.09.2016).

INTERACTIVE VISUALIZATION SYSTEM FOR DEBUGGING FUNCTIONAL SW OF ONBOARD INFORMATION-CONTROL SYSTEMS

© 2016 S.I. Elkin¹, K. V. Larin¹, V. V. Shishkin²

¹JSC “Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau”

²Ulyanovsk State Technical University

The article describes organization of the interactive visualization system of onboard information- control system virtual bench. There is given the architecture of debugging and system testing complex using the interactive visualization system and other components of the virtual bench.

Keywords: onboard information-management system, software debugging, virtual equipment, modeling.

Sergei Elkin, Senior Programmer. E-mail: serge178@mail.ru

Kirill Larin, Candidate of Technics, Chief Designer.

E-mail: lucky@ukbp.ru

Vadim Shishkin, Candidate of Technics, Professor at the Measuring and Computing Complexes Department.

E-mail: shvv@ulstu.ru