

УДК 629.78:004.94

Л. Ф. Ноженкова, О. С. Исаева, Р. В. Вогоровский
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Создано программное обеспечение для подготовки и проведения испытаний функционирования оборудования командно-измерительной системы с применением контрольно-проверочной аппаратуры.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая аппаратура, командно-измерительная система, контрольно-проверочная аппаратура, поддержка проведения испытаний, анализ функционирования оборудования.

L. F. Nozhenkova, O. S. Isaeva, R. V. Vogorovskiy
Institute of computational modelling SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation

PREPARATION AND EXECUTION OF TESTS OF THE SPACECRAFT COMMAND-MEASURING SYSTEM'S ONBOARD EQUIPMENT

Software for preparation and execution of functional tests of the spacecraft command-measuring system's equipment using test and control equipment is developed.

Key words: spacecraft, onboard equipment, command-measuring system, test and control equipment, test execution support, equipment functions analysis.

Комплексная поддержка проведения испытаний командно-измерительной системы основывается на технологиях построения измерительных информационных систем [1; 2]. Назначение системы проведения испытаний заключается в организации экспериментального определения количественных и качественных характеристик функционирования командно-измерительной системы (КИС) для проверки соответствия установленным техническим требованиям [3]. Измерительные функции обеспечиваются средствами контрольно-проверочной аппаратуры (КПА).

В Институте вычислительного моделирования СО РАН разработана технология подготовки и проведения испытаний. Технология представляет собой последовательность технологических этапов: подготовку сценариев испытаний с сохранением сценариев в базу данных, проведение испытаний – выбор сценариев из базы и их выполнение с сохранением результатов в хранилище данных, формирование отчетов и анализ результатов испытаний.

Программное обеспечение позволяет создавать сценарии проведения испытаний в виде последовательности измерений и действий на основе заданного набора команд и параметров оборудования. Под сценарием понимается формализованная последовательность воздействий на командно-измерительную систему для экспериментального опреде-

© Ноженкова Л. Ф., Исаева О. С., Вогоровский Р. В., 2015

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в Институте вычислительного моделирования СО РАН (договор № 02.G25.31.0041).

ления количественных и качественных характеристик ее функционирования.

На разных этапах подготовки и проведения испытаний задействуются разные программные подсистемы. Подготовка сценариев испытаний и анализ результатов производятся на рабочем месте конструктора с помощью соответствующих подсистем программно-математической модели бортовой аппаратуры командно-измерительной системы (ПММ БА КИС) [4]. Непосредственное проведение испытаний выполняет программное обеспечение контрольно-проверочной аппаратуры (ПО КПА КИС), установленное непосредственно на КПА [5]. Между собой эти системы общаются через серверное оборудование, на котором установлены оперативные базы данных и хранилище архива результатов испытаний. Программное обеспечение проводит проверку корректности испытаний в соответствии с техническими параметрами оборудования, заданными в его информационно-графической модели, выполняет сценарии, архивирует результаты в хранилище данных, ведет журналы событий и готовит отчеты на основе исходных данных, сценариев работы, наборов команд, наблюдаемых параметров.

Подготовка сценариев испытаний

Процесс создания сценария – это строго упорядоченная последовательность шагов. На первом шаге формируется набор действий, которые представляют собой методы работы с измерительным оборудованием. Конструктор из действий формирует последовательности, представляющие собой задания на измерения и наблюдения, из которых строятся сценарии испытаний.

Например, в качестве действий могут выступать: измерение номинальной частоты, определение частоты и частотной нестабильности несущего колебания и измерение спектра. Действия объединяются в задание. Дополнительно может быть создано задание для управления источниками питания. Построенные задания объединяются в сценарий, который позволяет анализировать состояние объекта испытаний. Для действий определяются условия функционирования, наблюдаемые и контролируемые параметры, а также способы визуализации результатов испытаний.

Подготовка сценариев испытаний выполняется в ПММ БА КИС, в состав которой

входит редактор сценариев, позволяющий с помощью графических инструментов задавать последовательности действий и измерений, производимых посредством КПА.

Для взаимодействия с оборудованием КПА предназначены специальные программы работы с оборудованием, реализованные в виде виртуальных приборов (Virtual Instrument, VI), разработанных в среде Labview. Библиотеки VI созданы на этапе разработки программного обеспечения специалистами Сибирского федерального университета. В редакторе сценариев эти программы зарегистрированы, описаны и на их основе сформирован перечень действий, доступных к выполнению. Действие предназначено для управления оборудованием КПА, оно выполняется через взаимодействие программы и оборудования. Примеры действий: «Измерение спектра», «Измерение мощности» и т.п. Действия представляют собой элементарные единицы, которыми оперирует конструктор при создании сценариев.

Для каждого действия определяются наборы входных и выходных параметров, а также условия запуска и остановки выполнения действия. Из действий конструктор может сформировать последовательности, в ПО КПА они называются заданиями. Задания формируются в табличной структуре, строками в которой являются выполняемые действия, столбцами – этапы их выполнения. Если действие выполняется несколько раз, то оно должно быть указано в задании в нескольких этапах поочередно либо занимать несколько столбцов одновременно. Выполнение нового этапа не начнется, пока не завершены все действия предыдущего этапа, за исключением продолжающихся на следующих этапах. В качестве критериев начала и остановки выполнения действий может выступать признак согласования действий между собой, например, завершение одного действия по истечении времени выполнения другого.

Формирование сценариев испытаний выполняется в аналогичной табличной структуре, только в качестве элементов сценария используются сформированные на предыдущем этапе задания. Сценарий схематично можно представить в виде конечного множества заданий, построенных из множества действий (рис. 1).

Таким образом, процесс создания сценария – это строго упорядоченная последова-

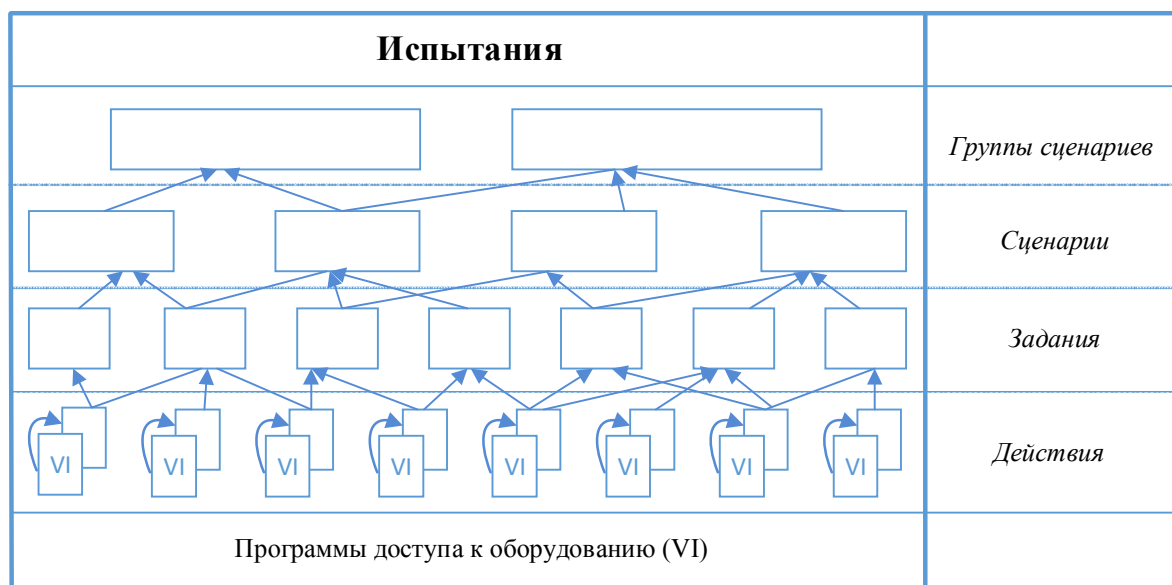


Рис. 1. Сценарии испытаний

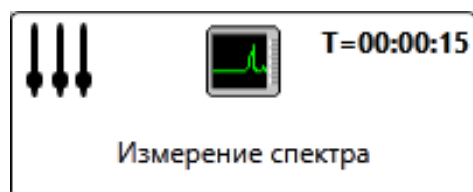


Рис. 2. Пример действия

тельность шагов. На первом шаге из действий формируются задания. Далее из заданий строятся сценарии. Сценарии могут объединяться в группы сценариев в соответствии с типом проводимых испытаний. Элемент нижнего уровня не может быть использован на верхнем уровне, минуя промежуточные этапы.

Создание сценариев выполняется в программном обеспечении ПММ БА КИС, установленном на рабочих местах конструкторов КИС. Поле для отображения сценария представляет собой сетку, в которой по горизонтали расположены этапы выполнения элементов (действий, заданий), а по вертикали размещены наименования элементов.

Минимальным элементом построения сценариев является действие, которое представляет собой поименованный блок измерения или управления оборудованием КПА (рис. 2). Действие визуально представляет собой поименованный блок, в центре которого размещается иконка с символьным обозначением действия. В левом углу блока содержится иконка, обозначающая условия запуска блока, а в правом – условия останова.

Из действий в сценарии создаются задания. Для каждого элемента в структуре зада-

ния или сценария отведена отдельная строка, а столбец определяет этап выполнения элемента. В каждой строке может быть несколько однотипных элементов, выполняемых последовательно на разных этапах. Один и тот же элемент может выполняться на протяжении нескольких этапов, в этом случае блок, обозначающий такое действие, размещен в нескольких ячейках (этапах) одновременно. Размещение одного элемента на нескольких этапах предполагает непрерывное его выполнение. Если же в одной строке располагаются несколько однотипных блоков (заданий, действий), то такие элементы будут выполняться поочередно на указанных этапах (рис. 3). Причем каждое действие (задание) будет завершаться на одном этапе и начинаться снова на следующем, в котором размещен соответствующий блок.

Из заданий строятся сценарии. Задания в сценариях размещаются аналогично размещению действий внутри задания (рис. 4).

Просмотр сценария в графическом виде позволяет определить, в какой последовательности будут проводиться измерения или иные действия с оборудованием.

Проведение испытаний

С помощью ПО КПА КИС обеспечения конструктор может проводить испытания КИС в соответствии со сценариями испытаний, управлять оборудованием КПА, анализировать параметры функционирования, граничные условия, выполнять контроль результатов. Обеспечивается возможность ана-

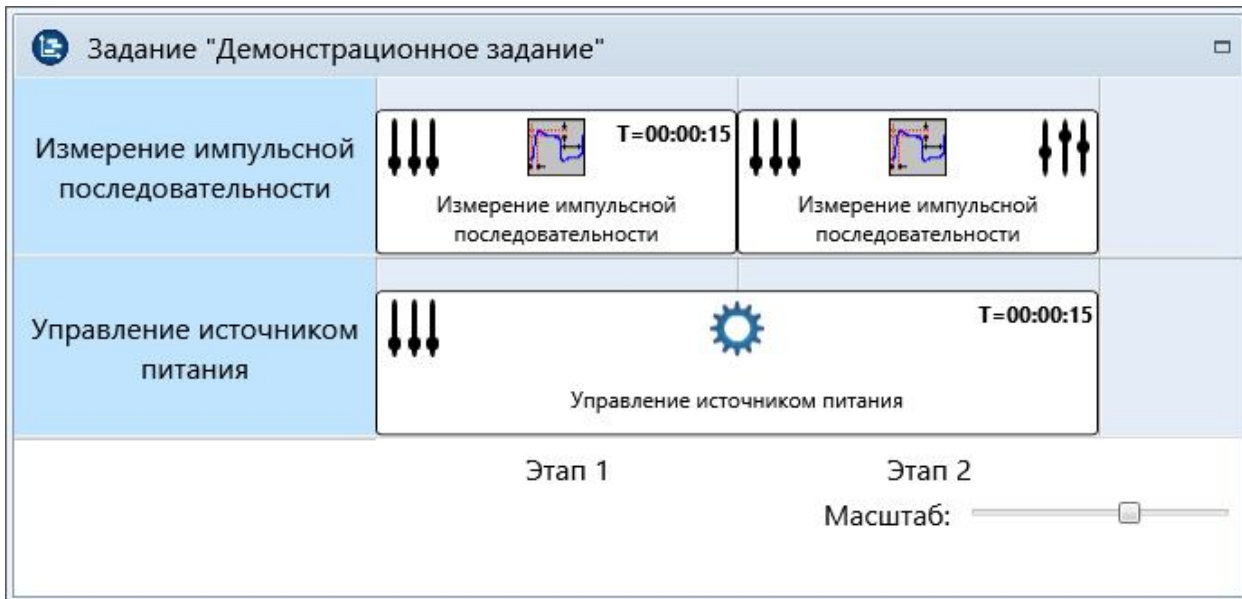


Рис. 3. Пример формирования задания

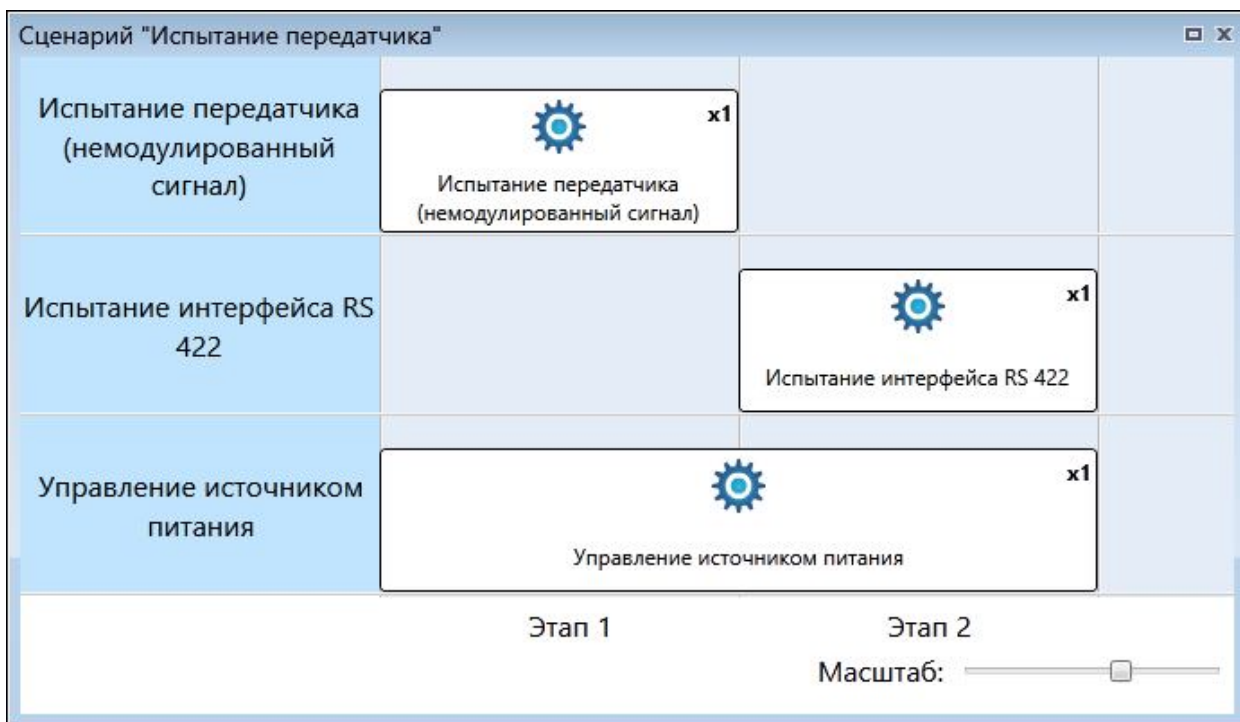


Рис. 4. Графическое представление сценария

лизировать результаты испытаний, сохранять их в хранилище данных, готовить отчеты. Также имеются функции ведения справочников системы и формирования библиотеки программ связи с оборудованием КПА.

После запуска ПО КПА КИС появляется главное окно и заставка с перечнем последних сценариев (рис. 5).

Окно состоит из ленты, объединяющей функции программного обеспечения, сгруппированные по выполняемым действиям, и панели быстрого поиска сценариев. Лента позволяет быстро находить функции, нужные для выполнения определенной задачи.

Расположение окон определяется пользователем, что позволяет организовать персо-

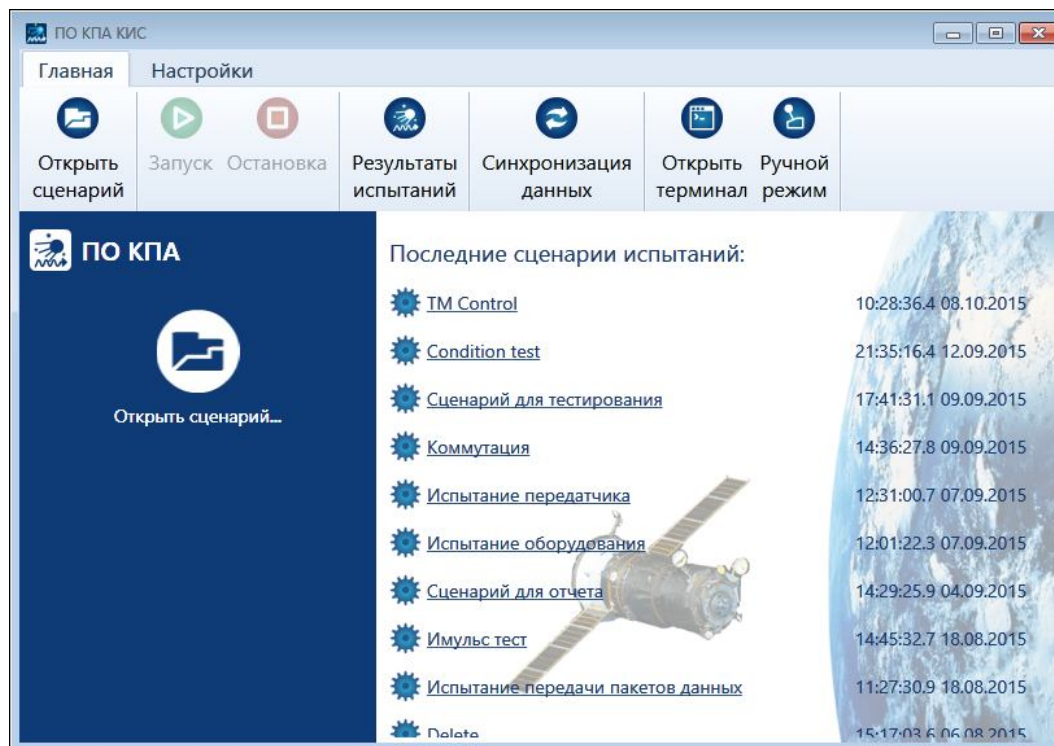


Рис. 5. Главное окно ПО КПА КИС

нальное рабочее пространство в соответствии с предпочтениями и удобством работы каждого пользователя. Выбранный способ размещения окон запоминается и восстанавливается при следующем запуске программного обеспечения.

При выборе сценария окна программы заполняются информацией о составе и свойствах сценария. Для выбора сценария в таблице приведено наименование, описание, автор, версия и дата последнего открытия сценария. Сценарии сгруппированы по тематическим разделам.

Перед выполнением сценария программное обеспечение инициирует проведение самопроверки оборудования КПА. В окне программы отображаются перечень ошибок, предупреждений и результаты самопроверки.

Процесс выполнения сценариев визуализируется в журнале событий, результаты показываются в соответствующем окне (рис. 6). Состав, свойства сценариев и способы отображения результатов определяются в программном обеспечении рабочего места конструктора.

Результаты проведения испытаний отображаются на панели с закладками, соответствующими каждому действию, входящему

в сценарий. Журнал событий представляет собой структуру табличного вида, содержащую следующий набор информации о событиях: тип, код, описание, источник, время. Информация о выполняемых шагах сценария приводится в журнале нарастающим итогом. В журнале отображаются сведения об успешном завершении какого-либо действия, событиях, вызывающих ошибки выполнения сценария, предупреждениях, возвращаемых программами связи с оборудованием (VI), и результаты самопроверки оборудования КПА.

Взаимодействие с автоматизированным информационным комплексом

Специальная функция переводит ПО КПА в режим работы под управлением автоматизированного информационного комплекса (АИК) [6]. При этом ПО КПА начинает выступать в роли сервера и ожидать поступления от АИК пакетов данных заданной структуры в соответствии с протоколом транспортного взаимодействия. ПО КПА – сервер, АИК – клиент, в этом случае ПО КПА ждет установки связи, инициатором которой является АИК.

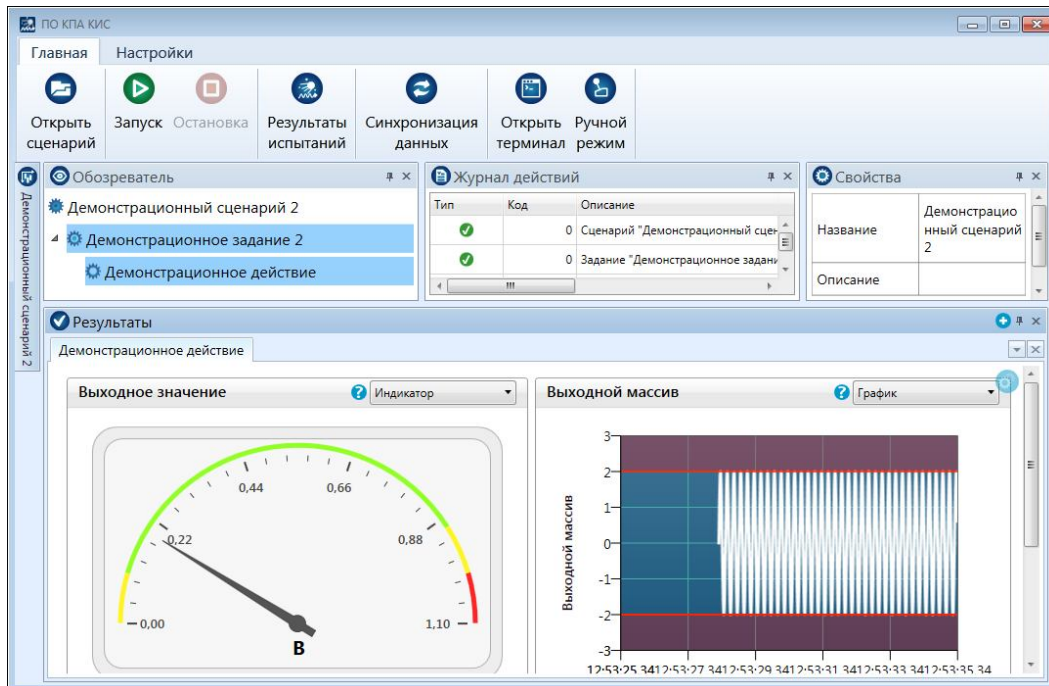


Рис. 6. Окна программы при выполнении сценария

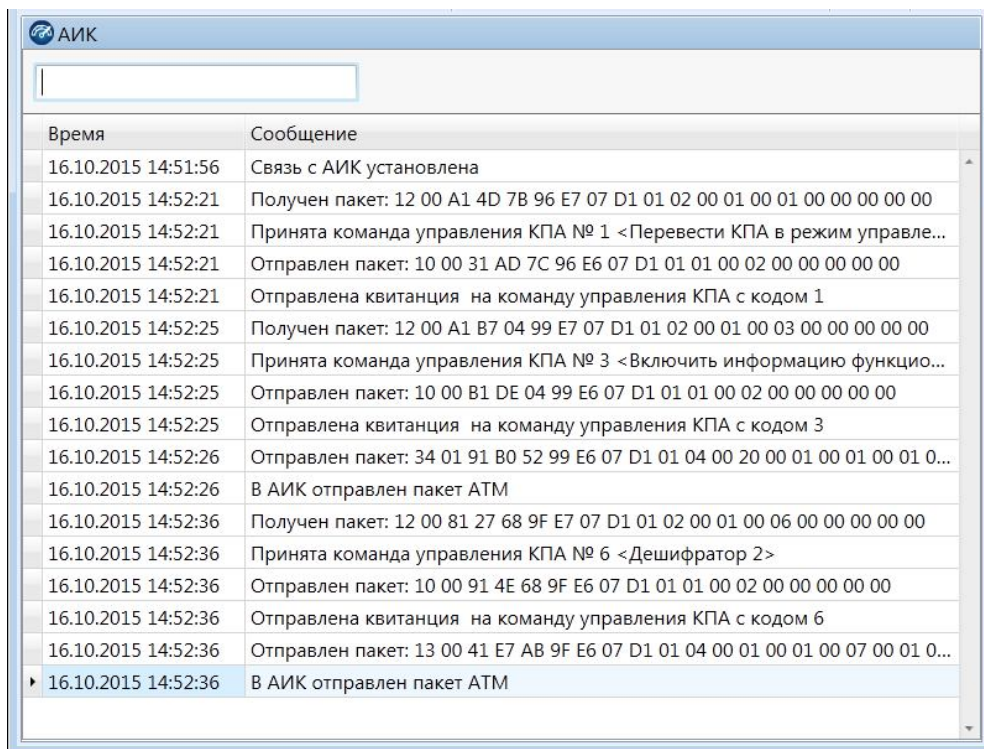


Рис. 7. Журнал испытаний под управлением АИК

Для проведения испытаний под управлением АИК программное обеспечение обменивается транспортными пакетами. ПО КПА, получая пакет, обрабатывает его, квитирует

(при необходимости) и сохраняет информацию о выполняемых действиях и получаемых данных в журнале (рис. 7).

Журнал взаимодействия с АИК отображается в отдельном окне программы. В журнале приводятся принятые, отправленные пакеты, а также дата и время выполнения действия.

Анализ результатов

Функции анализа измерений обеспечивают визуализацию результатов в графической и табличной форме, формирование реакций на выход за граничные условия, генерацию отчетов и рекомендаций по результатам проведенных испытаний. В системе поддерживается программная управляемость, то есть возможность программным путем изменять состояние оборудования или алгоритмы его функционирования, это позволяет оперативно менять возможности всей системы в зависимости от конкретных задач или результатов анализа.

Подсистема просмотра результатов испытаний включает в себя функции визуализации результатов непосредственно в процессе проведения испытаний, а также просмотра данных из архива ранее проведенных испытаний. Подсистема также включает средства построения отчетов.

В процессе проведения испытаний программное обеспечение предоставляет доступ

с рабочего места конструктора к данным и сообщениям об ошибках. По ранее прошедшим испытаниям подсистема позволяет просматривать результаты, изменяя способ их отображения. Реализованы функции автоматического воспроизведения процесса прошедших испытаний и перехода по временной шкале испытаний с отображением результатов. Выбранное испытание открывается в программном обеспечении (рис. 8).

Способ отображения результатов испытаний определен при создании сценария, но может быть изменен в окне просмотра через выпадающий список возможных вариантов. Большой набор инструментов, включая фильтры, группировки и др., позволяет анализировать результаты испытаний и сравнивать разные сеансы.

Подсистема построения отчетов результатов испытаний предназначена для создания, сохранения, печати и экспорта отчетов в обменные форматы. Окно отчета состоит из панели инструментов, карты документа, содержащей его оглавление и поля для отображения отчета. Карта документа и функции работы аналогичны функциям текстовых редакторов и представляют собой интуитивно понятные

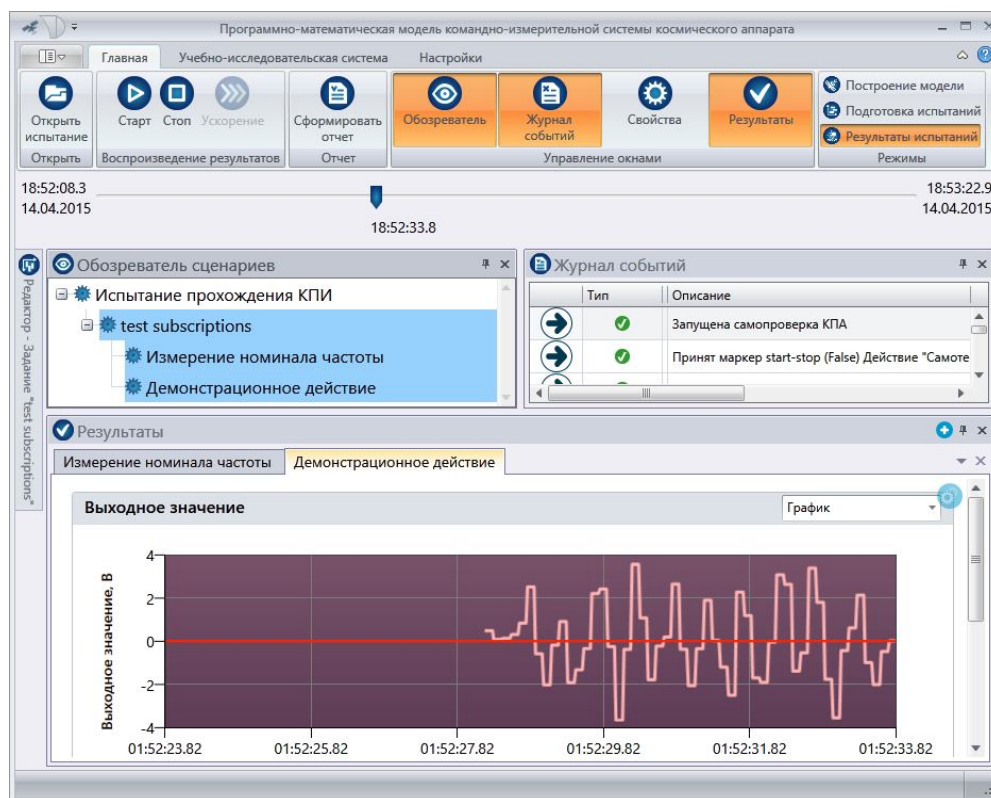


Рис. 8. Просмотр результатов испытаний

возможности поиска, масштабирования, печати и экспорта данных. Можно экспортировать документ в выбранный формат или отправить его по электронной почте.

Итак, результатом разработанной технологии явилась автоматизация всех этапов подготовки и проведения испытаний БА КИС. Подготовка сценариев испытаний и анализ результатов производятся на рабочем месте конструктора с помощью соответствующих подсистем ПММ БА КИС. Непосредственное проведение испытаний выполняет ПО КПА КИС, установленное на КПА.

Программное обеспечение верхнего уровня проводит проверку корректности испытаний в соответствии с техническими параметрами оборудования, заданными в его информационно-графической модели, выполняет сценарии, архивирует результаты в хранилище данных, ведет журналы событий и готовит отчеты на основе исходных данных, сценариев работы, наборов команд, наблюдаемых параметров. На нижнем уровне взаимодействие с аппаратурой осуществляется через виртуальные инструменты – VI, которые могут регистрироваться в базе данных. Благодаря этому библиотека действий, основанная на использовании VI, может расширяться и пополняться. В настоящий момент используется библиотека, разработанная специалистами Сибирского федерального университета.

Программное обеспечение дает возможность как просматривать результаты испытаний на рабочем месте конструктора в процессе их проведения, так и выполнять послеслеанский анализ. Подсистема построения отчетов результатов испытаний позволяет создавать отчеты, сохранять их и экспортировать во внешние системы.

Библиографические ссылки

1. Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М. : Логос, 2003. 736 с.
2. Раннев Г. Г. Измерительные информационные системы. М. : Издат. центр «Академия», 2010. 336 с.
3. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. ГОСТ 16504-81. М. : Стандартиформ, 2011. 24 с.
4. Программно-математическая модель бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата – ПММ БА КИС : руководство оператора. Красноярск : ИВМ СО РАН, 2015. 176 с.
5. Программное обеспечение контрольно-проверочной аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата – ПО КПА КИС : руководство оператора. Красноярск : ИВМ СО РАН, 2015. 78 с.
6. Максимов В. М. АСУИТО РАСКАТ. Описание применения. Железногорск : АО «ИСС», 2013. 19 с.

*Статья поступила в редакцию
26.10.2015 г.*