

Библиографические ссылки

1. Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов. Л. : Машиностроение, 1982. 304 с.
2. Применение SYSWELD для моделирования закалки в 2D постановке | Делкам – Урал [Электронный ресурс]. URL: http://plmural.ru/cae/tehnologicheskij_analiz/sysweld_modelirovanie_zakalki/ (дата обращения 16.06.2013).
3. Исаченко В. П. Теплопередача : учебник для вузов. М. : Энергоиздат, 1981. 416 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. под ред. Б.Е. Победря. М. : Мир, 1975. 438 с.
5. Арендарчук А. В., Астафьев А. А., Башнин Ю. А. Термическая обработка в машиностроении : справочник . М. : Машиностроение, 1980. 776 с.

References

1. Firger I. V. *Termicheskaja obrabotka splavov* (Heat Treatment of Alloys). Leningrad, Mashinostroenie, 1982. 304 p.
2. *Primenenie SYSWELD dlya modelirovaniya zakalki v 2D postanovke | Delkam* Available at: http://plmural.ru/cae/tehnologicheskij_analiz/sysweld_modelirovanie_zakalki/ (accessed 16 June 2013).
3. Isachenko V. P. *Teploperedacha: Uchebnik dlya VUZov* (Heat Transfer: Textbook for Institute of Higher Education). Moscow, Energoizdat, 1981. 416 p.
4. Zenkevich O. *Metod konechnyh jelementov v tehnike* (Finite Element Method in Technics). Moscow, Mir, 1975. 438 p.
5. Arendarchuk A. V., Astafiev A. A., Bashnin Yu. A. *Termicheskaya obrabotka v mashinostroenii: Spravochnik* (Heat Treatment in Machine Building: Reference Book). Moscow, Nauka, 1987. 776 p.

© Бачурин А. С., Бобин К. Н., Матвеев К. А., Курлаев Н. В., 2013

УДК 662.629.05

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Е. Н. Голубев, А. О. Николаев

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52. E-mail: gen@iss-reshetnev.ru

Рассматривается актуальная проблема развития и совершенствования методики стендовых испытаний бортового комплекса управления космического аппарата космических аппаратов разработки ОАО «ИСС». Авторами проведен анализ имеющихся средств стендовых испытаний БКУ, а также освещены проблемы исследования и верификации перспективных БКУ с сетевой организацией информационного обмена. Для решения рассматриваемых вопросов обосновывается необходимость разработки методики параллельного контроля процессов, а также диагностического контроля аномальных ситуаций вычислительного модуля в бортовой вычислительной сети. В работе использован объектно-ориентированный анализ, методы построения и анализа алгоритмов, методы моделирования в UML. На основе разработанных алгоритмов испытаний проведен предварительный этап отработки разветвленной сети SpaceWire. Разрабатываемые средства и методы испытаний внедряются при разработке стенда испытаний БКУ перспективных КА и могут быть использованы при отработке и верификации систем управления на основе разветвленных сетей обмена информацией. Разработанные принципы и методики являются основой для проведения наземной экспериментальной отработки БКУ нового поколения.

Ключевые слова: система управления, верификация алгоритмов управления, отработка систем управления, методики испытаний, наземные испытания.

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE ON-BOARD CONTROL SYSTEM TEST METHODS AT TEST BENCH FACILITY

E. N. Golubev, A. O. Nikolaev

JSC “Information Satellite Systems” named after academician M.F. Reshetnev
52 Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: gen@iss-reshetnev.ru

Development and improvement of the On-Board Control System (OCS) test methods, implemented in satellites manufactured by ISS, is considered in this paper.

The authors has analyzed the available bench facilities of OCS test and indicated the problem to investigate and verify the next generation of OCS that based on network organization of data change.

In order to solve a problem mentioned above it is required to develop the methods of the processes parallel control, as well as the diagnostic control of any abnormal status which might appear in the computation unit of the On-board computation network.

Object-oriented analysis, algorithm creation and analysis methods, UML simulation methods are used during this work. Based on the created algorithms the preliminary stage of the branched Space Wire network test is fulfilled.

The developed test facility and methods are used for OCS test bench development for future satellite and may be used to check and verify Control systems based on branched networks of data change. Created conception and methods will be used as a basis to test the new generation OCS in ground conditions.

Keywords: control system, verification of control algorithms, tests of control systems, test methods, on-ground tests.

Создание системы управления современного космического аппарата требует решения большого комплекса вопросов, основным из которых является верификация и отработка системы. С этой целью одновременно с разработкой аппаратуры, алгоритмов и программного обеспечения разрабатываются средства и методики испытаний, позволяющие достаточно полно и тщательно испытать и отработать комплекс управления космических аппаратов (КА).

В космических аппаратах, создаваемых в ОАО «ИСС», основой системы управления является бортовой комплекс управления (БКУ), для отработки которого созданы стендовые средства испытаний – стенд БКУ, позволяющий обеспечить качественную отработку аппаратуры и алгоритмов функционирования БКУ.

Тенденции развития БКУ перспективных КА требуют совершенствования имеющихся средств испытаний.

Для перспективных КА разрабатывается новое поколение БКУ, имеющих ряд особенностей по сравнению с существующими в настоящее время БКУ:

- в составе БЦВМ будут использоваться процессоры нового типа PowerPC и LEON (Sparc V8) [1; 2];
- в качестве магистрали обмена используется мультиплексный канал нового типа SpaceWire, позволяющий организовывать разветвленные сети передачи данных [3];
- в архитектуре БКУ будут использоваться принципы сетевой организации;
- бортовое программное обеспечение разрабатывается с учетом необходимости поддержки новых вычислительных платформ и новой архитектуры БКУ.

Обеспечение испытаний и отработки перспективного БКУ является исключительно актуальной задачей, без решения которой невозможно создание систем управления КА с необходимыми характеристиками. В связи с этим необходимо проведение исследовательских работ по совершенствованию средств и методик испытаний БКУ перспективных КА.

БКУ современных космических аппаратов является сложной многофункциональной системой, объединяющей в себя приборы с высокой степенью интеграции. БКУ обеспечивает выполнение алгоритмов автономного управления системами КА, информационного взаимодействия с наземным комплексом управления (НКУ), выполнение программ управления и контроля. При наземной экспериментальной отработке БКУ автономно от КА и в составе КА ставятся задачи: с одной стороны, наиболее полно и глубоко исследо-

вать свойства и характеристики БКУ, подтвердить правильность заложенных алгоритмов, а с другой стороны, из-за программного выполнения функций этим комплексом, требуется проведение отладки программного обеспечения совместно с аппаратурой БКУ.

Для выполнения указанных задач требуется создание высокоинтеллектуальных средств отработки систем БКУ, включающих в себя как аппаратные средства, позволяющие имитировать среду, в которой БКУ функционирует на КА, так и программные средства, позволяющие обеспечивать интерфейс с оператором, вмешательство в выполнение бортовых программ для их тонкого исследования, а также воспроизведения информационных потоков, существующих на КА.

Для реализации задач экспериментальной отработки и испытаний БКУ в 1970-х годах в НПО ПМ был создан стенд БКУ, содержащий необходимые аппаратно-программные средства испытаний БКУ. Основные составные части БКУ показаны на рис. 1.

Как видно из показанной структурной схемы, в состав средств экспериментальной отработки и испытаний БКУ входят:

- 1) средства имитации каналов связи с наземным комплексом управления;
- 2) средства имитации взаимодействий с бортовой аппаратурой (БА);
- 3) средства отладки программ;
- 4) средства управления БКУ;
- 5) автоматизированный испытательный комплекс (АИК);
- 6) база данных испытаний;
- 7) архив программ.

Построение средств отработки и испытаний БКУ в виде указанного набора отдельных подсистем позволяет модифицировать отдельные части испытательных средств применительно к конкретному КА и развивать и совершенствовать независимо отдельные элементы средств испытаний. По мере развития и совершенствования БКУ претерпели изменения и средства его испытаний – от простейших релейных блоков и пультов индикации до сложных комплексов на базе микропроцессорных устройств и сетей ПЭВМ.

Кратко остановимся на основных составных частях испытательного комплекса стенда БКУ.

Имитатор канала связи с НКУ строится на базе контрольно-проверочной аппаратуры бортовой связной системы и обеспечивает взаимодействие БКУ с НКУ аналогично происходящему в космосе, но по низкой частоте.

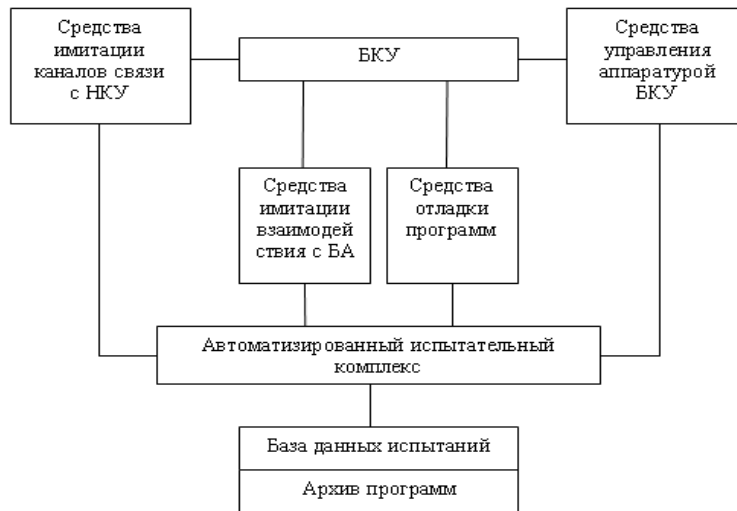


Рис. 1. Основные составные части стенда БКУ

Средства имитации взаимодействия с БА представляют из себя набор интерфейсов, аналогичных интерфейсам бортовых систем в виде релейных, аналоговых и температурных сигналов – они реализуются в виде специальных модулей различного уровня организации – от управления с панели оператором до программно управляемых устройств. В некоторых случаях для этой цели используются макеты бортовых приборов.

Средства управления БКУ представляют из себя набор устройств, обеспечивающих включение, выключение аппаратуры БКУ и задание необходимых режимов ее работы в виде специальных пультов с панелями управления оператором или с дистанционным управлением.

Средства отладки программ основываются на встроенных в процессор бортового компьютера системах отладки. Они представляют из себя, как правило, ПЭВМ с дополнительными портами и устройствами сопряжения по технологическим каналам бортового процессора.

Автоматизированный испытательный комплекс (АИК) стенда БКУ выполняет функции ввода и вывода информации по радиоканалу через имитатор канала связи с НКУ, обмен информацией между бортовой и инструментальной ЦВМ по технологическому каналу. Он также связывает между собой наземные средства испытаний БКУ и обеспечивает управление и обмен информацией с ними. В результате становится возможным организовывать процесс испытаний как по командам оператора, так и автоматически с помощью заложенных в инструментальную ЦВМ АИК программ. Для создания фрагментов испытательных программ используется разработанный в НПО ПМ язык создания циклограмм испытаний «Диполь».

База данных испытаний и архив программ служат для хранения и использования программ и результатов испытаний с соответствующими сервисными средствами и хранения отлаживаемых бортовых программ.

Описанный выше комплекс средств экспериментальной отработки БКУ для перспективных КА вы-

полнен на базе единого комплекса АПС ИК08, разрабатываемом ОАО «Информтест» (Зеленоград, Москва).

Укрупненная структурная схема стенда с использованием комплекса АПС ИК08 показана на рис. 2.

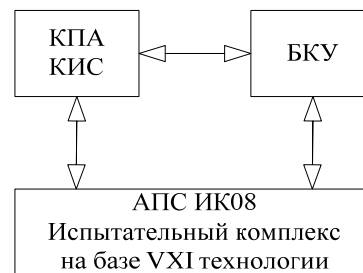


Рис. 2. Обобщенная структурная схема перспективного стенда БКУ

Комплекс АПС ИК08 строится на базе VXI технологии и реализует все вышеперечисленные функции средств испытаний БКУ, кроме функции контрольно-проверочной аппаратуры КИС (КПА КИС).

Для отработки БКУ нового поколения требуется создание новых средств испытаний, учитывающих особенности БКУ, а именно:

- для отработки процессоров нового типа PowerPC и LEON (Sparc V8) в составе БЦВМ необходимо создание новых аппаратно-программных средств, обеспечивающих исследование работы процессора и отладку программ;
- для отработки и контроля магистрали обмена на основе мультиплексного канала SpaceWire необходимо создание средств контроля магистрали SpaceWire, позволяющих также исследовать и обрабатывать разветвленные сети передачи данных [4];
- отработка сетевой организации БКУ является новой задачей, которая ранее не решалась при отработке систем управления КА и требует проведения специальных исследований и создания специализированных аппаратно-программных средств;
- отработка бортового программного обеспечения, разрабатываемого с учетом необходимости под-

держки новых вычислительных платформ и новой архитектуры БКУ, требует проведения исследования и разработки новых средств и методик.

Для обеспечения испытаний БКУ наиболее актуальным вопросом является разработка аппаратно-программных средств и методик испытаний, позволяющих обеспечить отработку и верификацию БКУ с модульно-сетевой архитектурой на базе магистралей SpaceWire.

В результате проводимых исследований выполняется разработка следующих методик и средств испытаний:

1) разработка методики параллельного контроля процессов в разветвленной сети SpaceWire с помощью предлагаемых средств стендовых испытаний;

2) разработка методики диагностического контроля аномальных ситуаций вычислительного модуля в бортовой вычислительной сети SpaceWire на унифицированном стенде БКУ;

3) разработка методики отработки реконфигурации бортовой вычислительной системы в разветвленной сети SpaceWire средствами унифицированного стенда БКУ;

4) создание аппаратно-программных средств стендовой отработки для их включения в состав средств испытаний БКУ с модульно-сетевой архитектурой.

В результате проведенной работы проводится создание унифицированных рабочих мест (стенд СБКУ-У) для отработки аппаратно-программных средств перспективных БКУ с распределенной модульно-сетевой архитектурой. Структурная схема экспериментального стенда показана на рис. 3.

В состав аппаратно-программных средств экспериментального стенда входят:

– рабочее место контроля и отработки сети SpaceWire, имеющее в составе: ПЭВМ, тестер магистралей, специализированное ПО и другое оборудование для работы в составе стенда БКУ. Рабочее место предназначено для обеспечения отработки и аттестации магистралей SpaceWire и проведение исследовательских работ БКУ с сетевой организацией. Проведен первый этап совместных исследовательских работ ОАО «ИСС» и ОАО «ИРЗ» с аппаратурой перспек-

тивного бортового вычислительного комплекса на базе процессора AT967F, позволяющий определить основные аппаратные принципы реализации и апробацию алгоритмов поддержки архитектуры сетевого канала SpaceWire;

– рабочее место лабораторного отладочного комплекса для отладки ПО БЦВМ с процессором Power PC или LEON. Указанное рабочее место обеспечивает упреждающую предварительную отработку программного обеспечения совместно с макетом реальной бортовой ЦВМ. Рабочее место строится на базе ПЭВМ, средств сопряжения с бортовой ЦВМ и специализированного ПО и позволяет проводить отладку бортового ПО, так и обеспечивать контроль и управление БЦВМ при проведении работ на стенде БКУ, загрузку программ, взаимодействие с испытательным комплексом и проведение исследовательских работ. Экспериментальные работы по исследованию архитектуры процессоров Power PC и LEON ведутся на прототипах лабораторных отладочных комплексов в рамках разработки бортовых вычислительных комплексов нового поколения;

– рабочее место для контроля и отработки распределенной сети на базе ПЭВМ и средств комплексного сопряжения с узлами сети. Рабочее место предназначено для контроля сети и проведения исследования архитектуры БКУ с сетевой организацией.

Методические принципы организации отработки приборов системы управления, соединенных в распределенную сеть, основываются на разработанной в ОАО «ИСС» системе автоматизированных испытаний на основе циклограмм испытаний, написанных на языке ДИПОЛЬ [5]. Такая система позволяет организовать автоматизированный контроль и регистрацию процессов и событий.

Для случая разветвленной сети, имеющиеся средства испытаний не могут обеспечить контроль информации одновременно в различных узлах сети. Авторами проведено исследование структуры разветвленной системы обмена данными и построена модель такой системы с использованием методов построения и анализа алгоритмов и методов моделирования в UML.

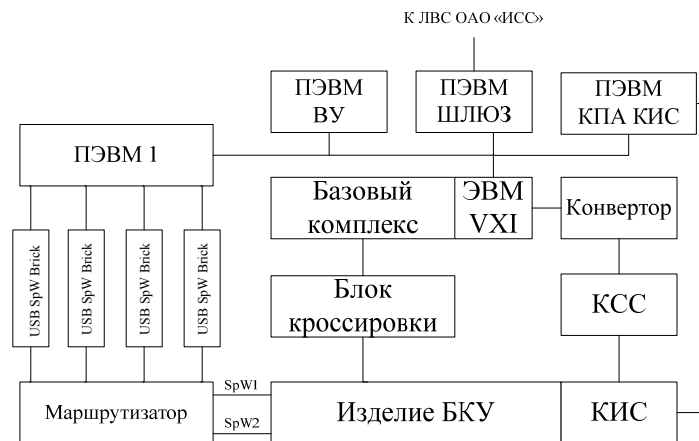


Рис. 3. Экспериментальный стенд для отработки сетевой архитектуры с каналом SpaceWire

Полученная модель позволяет описать взаимодействие приборов системы управления КА, объединенных в сеть посредством канала SpaceWire и получить алгоритм контроля процессов в системе управления, который можно реализовать в дополнительных устройствах контроля, включаемых в автоматизированный испытательный комплекс.

Такие дополнительные средства мониторинга обмена информации в информационных каналах в виде тестеров канала в ряде случаев уже используются при испытаниях КА, но не включаются в основную систему испытаний. При реализации в них вновь разработанных алгоритмов контроля сети SpaceWire такие автоматизированные средства испытаний могут сопрягаться с основным испытательным комплексом и включаться в состав автоматизированных средств отработки и испытаний БКУ. На основе разработанных алгоритмов испытаний проведен предварительный этап отработки разветвленной сети SpaceWire.

Совершенствование методики контроля и верификации вычислительной системы на базе разветвленной сети SpaceWire позволяет качественно и эффек-

тивно провести наземную экспериментальную отработку БКУ перспективных КА. Разработанные принципы и методики испытаний проходят апробацию при разработке стенда испытаний БКУ перспективных КА и могут быть использованы при отработке и верификации систем управления на основе разветвленных сетей обмена информацией.

References

1. Irom F., Farmanesh F.H. Single-Event Upset in Commercial Silicon-on-Insulator PowerPC Microprocessors (2002) *IEEE Trans. Nucl. Sci.*
2. The SPARC Architecture Manual. Version 8 (1992) *SPARC International, Inc.*
3. ECSS Standart ECSS-E-50-12C. SpaceWire, Links, Nodes, Routers and Networks (2008) *European Cooperation for Data Standardization.*
4. Simpson M. DS-Links and C104 Routers – Networks, Routers and Transputers: Function, Performance and Applications (1993) *INMOS, IOS Press.*
5. Описание дипол 6. *Архитектурный проект. Ч. 2. Язык DIPOL 6 // FGUP NPO PM, Zheleznogorsk, 2006.*

© Голубев Е. Н., Николаев А. О., 2013

УДК 520.6

ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ НАНОСПУТНИКА

А. Н. Липатов¹, А. Н. Ляш¹, А. П. Экономов¹, С. А. Антоненко², Г. В. Захаркин²

¹Институт космических исследований Российской академии наук
Москва, 117997, ул. Профсоюзная, 84/32. E-mail: slip@iki.rssi.ru

²ЗАО СП «ИНТЕРАСТРО»
Москва, 117997, ул. Профсоюзная, 84/32. E-mail: eslab@mail.ru

Проведен полный цикл разработки миниатюрного звездного датчика для наноспутника от выработки концепции до разработки конструкторской документации, изготовления опытного образца и его испытаний и калибровки на специально созданном испытательном стенде. Предложены алгоритмы для снижения шумов и повышения точности. На этой базе предложена система астроориентации из нескольких согласованных миниатюрных звездных датчиков на одном наноспутнике. Такая система позволяет уменьшить требования к индивидуальному датчику, входящему в систему. В настоящее время продолжаются работы по улучшению характеристик разработанного датчика и подготовки его к использованию на наноспутниках.

Ключевые слова: звездный датчик наноспутник астроориентация.

THE STAR SENSOR FOR THE NANOSATELLITE

A. N. Lipatov¹, A. N. Lyash¹, A. P. Ekonomov¹, S. A. Antonenko², G. V. Zakharkin²

¹Space Research Institute (IKI)
84/32 Profsoyuznaya str., Moscow, 117997. E-mail: slip@iki.rssi.ru

²ZAO SP (CJSC Joint Venture) "INTERASTRO"
84/32 Profsoyuznaya str., Moscow, 117997. E-mail: eslab@mail.ru

The full cycle of development was carried out for the tiny star sensor for the nanosatellite, from the concept to the production documentation, manufacturing of a prototype and its tests and calibration at specially created optical test bench. Algorithms for decrease in noise and accuracy increase are offered. On this base the astroorientation star