

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОАО «ИСС»

Описываются цели и задачи наземной отработки бортовых комплексов управления космических аппаратов связи и навигации. Описаны подходы к построению испытательного стенда, принципы автоматизации испытаний. Дается оценка преимуществ и недостатков предложенных решений, а также перспективы развития испытательного стенда для перспективных космических аппаратов (КА).

Ключевые слова: бортовой комплекс управления, наземная отработка, автоматизация испытаний.

Проведение испытаний на стенде БКУ является одним из важнейших этапов создания космических аппаратов ОАО «ИСС».

Объектом контроля (испытаний) на стенде БКУ является бортовой комплекс управления.

Бортовой комплекс управления (БКУ) является ядром системы управления КА и предназначен для решения следующих задач:

- создание управляющей среды для реализации задач управления бортовых систем КА;
- организация автономного контура контроля и управления КА;
- информационно-логическое взаимодействие с внешним контуром управления и контроля КА.

БКУ включает в себя следующее:

- бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК);
- бортовая аппаратура телесигнализации (БАТС);
- командно-измерительная система (КИС);
- блок управления БКУ (БУ БКУ);
- блок интерфейсный БКУ (БИ БКУ);
- бортовая кабельная сеть (БКС);
- бортовое программное обеспечение (БПО).

БКУ состоит из конструктивно независимого оборудования, объединенного только кабельной сетью, поэтому программное обеспечение БКУ является организующим элементом БКУ.

ПО БКУ предназначено для решения задач контроля и управления аппаратурой БКУ, обмена информацией с бортовой аппаратурой по мультиплексному каналу обмена (МКО).

БУ БКУ необходим для выполнения функций управления, координации работы систем КА и использования в составе бортового комплекса управления.

КИС осуществляет прием телекоманд с наземных станций, передачу телеметрической информации (ТМИ) на наземные станции.

БЦВК применяется для реализации алгоритмов управления и контроля спутником.

БИ БКУ предназначен для управления исполнительными элементами двухконтурной жидкостной системы терморегулирования (СТР) и обогревателями СТР, системы коррекции (СК), аккумуляторной батареи (АБ), приборов ретранслятора (РТР), панелей полезной нагрузки (ПН), механизмов раскрытия и наведения антенн, обеспечивающих требуемый тепловой режим элементов приборов спут-

ника на участке выведения (УВ), в процессе штатной эксплуатации и в режиме обеспечения живучести.

БАТС предназначена для сбора, обработки, хранения информации, выдачи ее в строго определенной структуре для передачи на наземный контур управления (НКУ).

Структурная схема БКУ приведена на рис. 1.

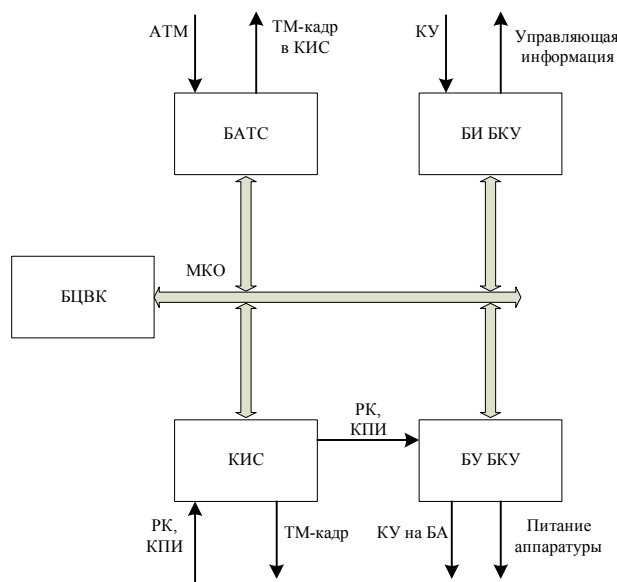


Рис. 1. Структурная схема БКУ

БКУ имеет следующие внешние интерфейсы:

- приема командной информации (РК) от НКУ;
- приема командно-программной информации (КПИ) от НКУ;
- передачи информации на НКУ;
- обмена по каналу МКО.

В ходе проведения испытаний бортового комплекса управления решаются следующие задачи:

- электрическая отработка аппаратуры и БКУ в целом с определением соответствия реальных характеристик обменных сигналов в комплексной схеме БКУ требованиям технических заданий (ТЗ);
- отладка бортового программного обеспечения;
- отработка логики функционирования и взаимодействия подсистем, входящих в состав БКУ;
- отработка комплексного функционирования БКУ.

Как результат испытаний подтверждается правильность технических решений, принятых при проектирова-

нии БКУ и выдается заключение о допуске БКУ к дальнейшим испытаниям.

Отработка БКУ на стенде обычно выявляет большое количество замечаний, устранение которых требует доработки аппаратуры, кабелей или программного обеспечения (ПО), что говорит об эффективности отработки. При этом выявление причин некоторых замечаний требует длительной работы и создания дополнительных программных средств (ловушек и программ, подтверждающих замечания). Как правило, дополнительных замечаний по выявленным и устраненным проблемам на последующих этапах не возникает. Исключение могут составлять замечания, связанные с отсутствием смежных приборов, с которыми стыкуется БКУ. Поэтому следует отметить, что к этапу испытаний на стенде БКУ следует приступать после завершения автономных испытаний приборов БКУ (после проведения комплексно доводочных испытаний приборов и комплексных испытаний БПО на наземном отладочном комплексе (НОК). При нарушении этого принципа (вследствие неготовности или же директивных сроков) стенд отладки комплекса БКУ превращается в рабочее место для проверки отдельного прибора.

В связи с моральным и техническим устареванием испытательного оборудования, ограниченными возможностями развития ПО на данных средствах, появлением новых задач, а также с развитием испытательной техники возникла необходимость разработки стенда БКУ.

При определении структуры стенда БКУ для перспективных КА была выбрана структура стенда на основе модульного построения системы на основе интерфейса VXI. Данный выбор являлся не случайным, так как эта структура построения является наиболее интенсивно развивающимся направлением в структуре наземных испытательных комплексов – использование модульного построения системы на основе интерфейса VXI.

Важной задачей при создании испытательного стенда является унификация испытательных средств, учитывая, что стенд БКУ – первое звено цепи испытаний КА.

В связи с этим необходимо, чтобы процедуру испытаний (циклограмму) можно было использовать на различных этапах испытаний КА без доработки.

Не менее важным критерием является критерий «стоимость/цена» – ограничение каналов управляющих воздействий по сравнению с другими рабочими местами, т. е. оптимизация под испытания БКУ. Испытательное оборудование VXI позволяет проводить испытания с высокой степенью автоматизации. Кроме того, учитывался широкий опыт специалистов ОАО «ИСС» при разработке ПО, обеспечивающего работу контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) в соответствии с поставленными задачами.

Структурная схема стенда БКУ для перспективных КА представлена на рис. 2.

На функциональной схеме (см. рис. 3) определены приведенные далее элементы.

Канал технологического управления и контроля (КТУК) обеспечивает реализацию программы испытаний на физическом уровне в виде обмена с БКУ конкретными электрическими сигналами.

Канал прямого управления (КПУ) осуществляет выдачу на БКУ команд прямого управления и регистрацию их выдачи.

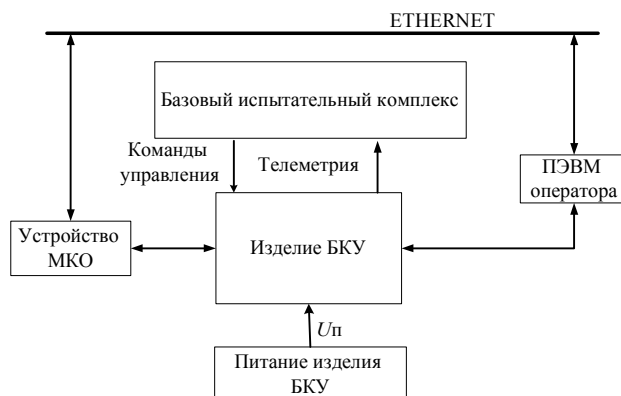


Рис. 2. Структурная схема стенда БКУ

Функциональная схема автономного испытательного комплекса (АИК) БКУ определяет основные компоненты стенда и представлена на рис. 3.



Рис. 3. Функциональная схема АИК БКУ

Канал приема телеметрической информации от бортовой системы телеконтроля обеспечивает прием и первичную обработку импульсного/потенциального бидвоичного кода структуры БИТС-2Т непосредственно с выходных разъемов бортовой системы телеметрического контроля (СТК).

Канал МКО обеспечивает обмен информацией между АИК БКУ и бортового компьютера в интересах реализации программы испытаний.

Канал интерфейсного обмена Ethernet осуществляет обмен информацией с абонентами сети ОАО «ИСС».

Средства самопроверки АИК БКУ решают задачу проверки работоспособности АИК.

Средства адаптации АИК БКУ решают задачу электрической стыковки БКУ с аппаратурой АИК БКУ.

Система отображения информации воспроизводит задачу оперативного мониторинга испытаний в реальном масштабе времени с использованием тех же инструментов обработки и отображения информации, которые применяет ведущий оператор на КАПРИ.

КАПРИ является автоматизированным рабочим местом и обеспечивает все функции автоматизации проведения и мониторинга испытаний в реальном времени.

В ходе испытаний выдаются управляющие воздействия системе и контролируются параметры функционирования. Проведение испытаний может проходить автоматизировано и в ручном режиме.

Высокая степень автоматизации испытаний достигается главным образом за счет автоматизированного исполнения циклограмм испытаний (алгоритмов проведения проверок системы) и за счет системы автоматического контроля параметров, характеризующих состояние испытываемого БКУ.

Циклограммы испытаний создаются инженерами-конструкторами на специальном прикладном языке испытаний ДИПОЛЬ-6. Возможности языка следующие:

- выдача команд в определенной временной последовательности;
- запуск циклограмм по определенным событиям;
- ветвление циклограмм;
- вызов вложенных циклограмм;
- циклическое выполнение участков циклограмм;
- организация параллельной работы циклограмм;
- постановка на автоматический контроль любого количества параметров по заданным алгоритмам контроля.

Система автоматического контроля параметров («Дежурный контроль») в режиме реального времени выполняет оценку состояния заданных параметров. Параметры на «Дежурном контроле» описываются как набор областей их значений (вектор допустимых состояний). Вхождение или выход из данных областей текущего значения параметра, в зависимости от алгоритма контроля предусматривает определенную реакцию. Гибкость системы заключается в широком наборе предопределенных алгоритмов контроля и реакций. Алгоритмы контроля могут оценивать значение параметра на заданном интервале или изменять допустимую область значений после первого «вхождения» параметра в указанную область (etc.). Реакцией может быть запуск аварийной циклограммы для выключения изделия, остановка испытаний, выдача сообщения оператору и т. д.

Ключевой системой является система архивирования и протоколирования. Для полноценного анализа испытаний ведется протокол испытаний. Протоколируется выполнение циклограмм, оценки «Дежурного контроля», выполнение реакций и действия оператора. Архивируются все параметры формируемые объектом контроля. Для анализа предусмотрены просмотр архива изменений отдельного параметра, просмотр формуляров (группы параметров, связанных по какому-либо критерию), а также просмотр графиков изменения параметров.

Структурно-программные средства обеспечения испытаний состоят из нескольких больших программных

комплексов (рис. 4). Комплекс подготовки данных испытаний (КПДИ) обеспечивает настройку конкретного рабочего места испытаний на заданный объект контроля. Комплекс включает в себя редакторы базы команд и параметров, вторичных параметров, мнемосхем мониторинга и управления, циклограмм испытаний, а также программы, контролирующие все подготовленные данные на непротиворечивость и полноту.

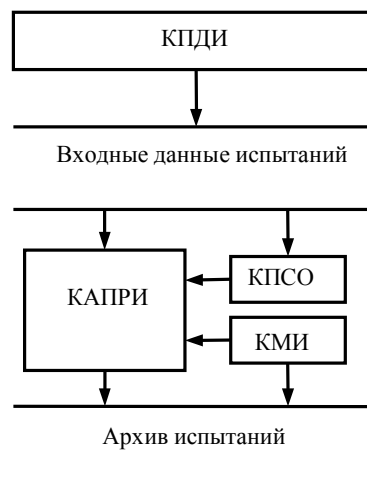


Рис. 4. Структура ПО автоматизации испытаний

Комплекс программ сопряжения (КПСО) обеспечивает преобразование разнообразных интерфейсов связи с объектом контроля (ОК) в унифицированный интерфейс связи с комплексом автоматизированного проведения испытаний (КАПРИ). КАПРИ обеспечивает все функции автоматизации проведения и мониторинга испытаний в реальном времени. Комплекс мониторинга испытаний (КМИ) осуществляет удаленный мониторинг испытаний, как в реальном времени, так и послесеансный.

Программное обеспечение является масштабируемым и унифицировано с ПО аналогичных рабочих мест (РМ), предназначенных для испытаний различных систем и бортовой аппаратуры (БА) КА.

Схема прохождения информации испытаний стенда БКУ (СБКУ) объединяет этапы подготовки, проведения и мониторинга испытаний (рис. 5). На своих рабочих местах конструкторы с помощью различных редакторов, документаторов подготавливают входные данные для испытаний. Подготовленные и проверенные входные данные (ВД) затем передаются на требуемое рабочее место. Планируется, что во время проведения испытаний конструктор имеет возможность анализа поведения системы в реальном времени. Одновременно формируется архив протокола испытаний, обработанной информации (архив параметров), необработанной информации (принятых пакетов), принятых отчетов, сформированных массивов. После проведения сеанса испытаний имеется возможность работы с архивом результатов испытаний. Данный комплексный подход обеспечивает единую идеологию построения и унификацию средств автоматизации, что повышает надежность и эффективность их применения.

Созданный на основе упомянутых технических решениях стенд БКУ прошел отработку на предмет соответ-

ствия каналов управления требованиям ТЗ, а также испытания БКУ КА «Муссон». В настоящее время на стенде БКУ проводятся испытания БКУ для новых спутников системы «ГЛОНАСС».

Следует отметить, что эксплуатация нового стенда БКУ показала некоторые недостатки в заложенных решениях. Одним из самых главных является то, что при использовании VХI-технологий для построения испытательных комплексов в случае возникновения необходимости разработки новых VХI-приборов требуются большие финансовые затраты и большие сроки реализации доработки стенда.

Однако в целом, принятые технические решения по структуре испытательного комплекса, архитектуре аппаратных средств, по способу автоматизации испытаний и обработке результатов испытаний можно считать вполне успешными.

Кроме того, развитие данного комплекса позволит решать на стенде БКУ ряд перспективных задач, вызванных усложнением интерфейсов в перспективных аппаратах ОАО «ИСС», требованиями по сокращению сроков проведения испытаний, а также появлением новых задач для данного этапа отработки БКУ.

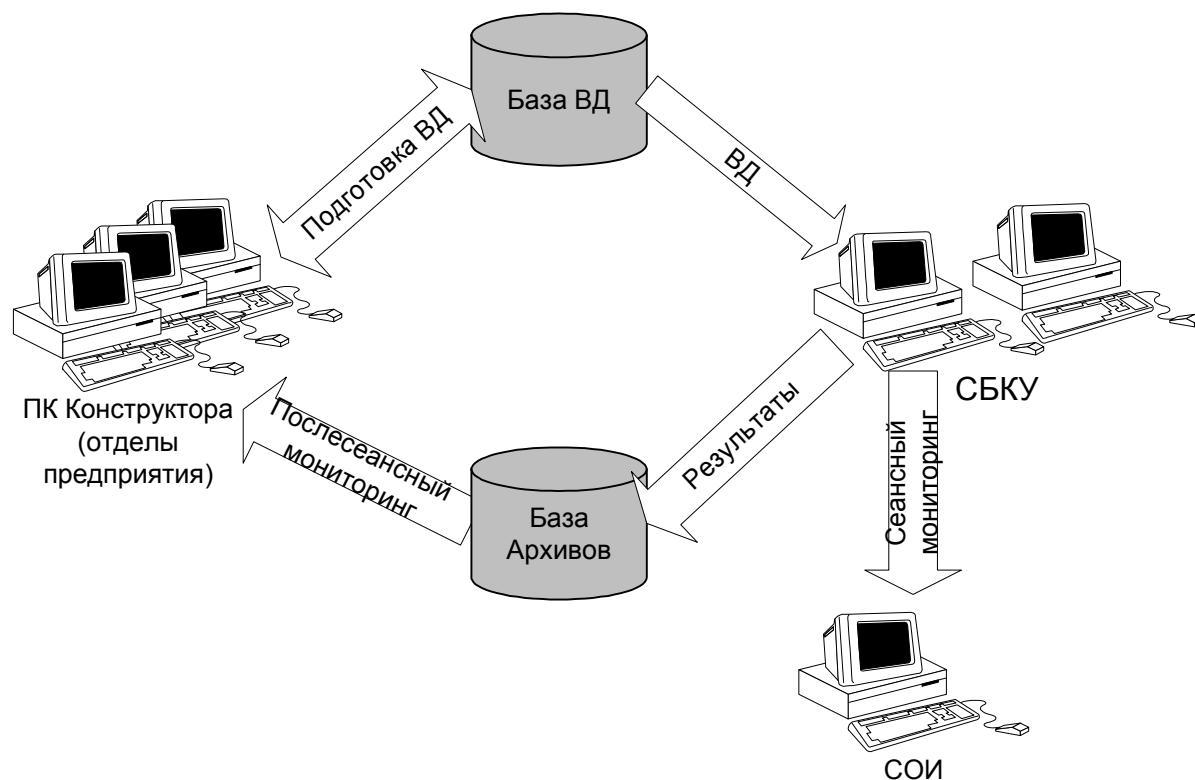


Рис. 5. Схема прохождения информации испытаний

V. V. Esunin, A. V. Barkov

UNDERLYING PRINCIPLES FOR CONSTRUCTION OF TESTBED FOR JSC «ISS» PERSPECTIVE SATELLITES

Goals and objectives of ground test of on-board control subsystems of space units of communication and navigation are described. Approaches for construction of tester unit and principles of automation test are described. Estimation of merits and demerits of the suggested decisions and prospect of the tester unit development for perspective satellites are given.

Keywords: on-board control subsystem, ground test, automation test.

© Есунин В. В., Барков А. В., 2010