Канд. техн. наук Г.А.Акопов, инж. А.Г.Шехтман, инж. А.Б.Платонов

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

На ранней стадии создания КА испытания полностью собранного КА (или частично собранного) проводились с помощью большого количества неавтоматизированной (в ручную) контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) отдельных устройств систем, установленных на КА. Последовательность работы проходила следующим образом:

- при изготовлении отдельных бортовых систем и устройств, входящих в состав КА, создавалась КПА этой конкретной системы или устройства;
- при помощи КПА каждая система проходила отладку, проверку функционирования этой системы, включая проверку реакции бортовой системы на различные неисправности с имитацией отказов средствами КПА;
- после сдачи бортовых систем или устройств заказчику, они устанавливались на КА. При этом бортовые системы по своим штатным (рабочим) связям соединялись, при помощи бортовой кабельной сети, с соответствующими входами и выходами других бортовых систем, а технологические цепи (управления, имитации и контроля) выводились через герморазъемы на собственную КПА.

Таким образом, испытательный комплекс КА состоял из набора КПА отдельных бортовых систем, подключенных к технологическим герморазъемам КА. На каждом рабочем месте КПА работали операторы-испытатели. Испытания КА проводились по заранее разработанным текстовым инструкциям, которые находились у каждого оператора КПА. Руководил испытаниями КА главный оператор по текстовой комплексной инструкции, выдавая голосом распоряжения операторам КПА бортовых систем о выдаче команд управления на борт и проведения контрольных проверок.

Подробно технология подготовки КА и виды различных испытаний были рассмотрены в [1].

В настоящее время принципы и виды испытаний на различных этапах подготовки КА к штатной эксплуатации в основном сохранились, но испытательные средства КА, с появлением различных

видов ЭВМ как бортового, так и наземного применения, радикально изменились.

Первым автоматизированным испытательным комплексом, примененным для испытаний КА на заводе-изготовителе (ЗИ) был АИСТ, построенный на базе ЭВМ В3М, разработанной во ВНИИЭМ, а для подготовки КА на техническом комплексе (ТК) космодрома была разработана полуавтоматическая система ПАСП-ТП, выполненная на дискретных электронных элементах. При появлении в составе бортовых систем КА бортовой ЭВМ испытательная система АИСТ была модернизирована в систему АИС-1В (для КА «Ресурс-О», состав которой был дополнен комплексом связи с бортовой ЭВМ (КСБ) и комплексом автоматической обработки телеметрической информации (КОТИ)). Далее для заводских испытаний КА «Электро» был разработан автоматизированный испытательный комплекс ПОИСК, выполненный в виде распределенных вычислительных средств (ЭВМ) на основе МС УВТ В7 и В9, также разработки ВНИИЭМ.

Для подготовки КА «Электро» на техническом комплексе космодрома «Байконур» планировалось изготовить испытательный комплекс ПОИСК-ТК, отличающийся от базового комплекса сокращенным составом распределенных вычислительных средств, но все-таки представляющий собой довольно объемный по составу, дорогостоящий и трудоемкий в изготовлении, наладке и эксплуатации комплекс.

Проанализировав возможности предприятия и сроки подготовки этого испытательного комплекса, а также учитывая неготовность планируемого испытательного корпуса на полигоне, в котором можно было проводить подготовку КА с размещением довольно большого испытательного оборудования, было принято решение, по которому в сжатые сроки был спроектирован и изготовлен автоматизированный испытательный комплекс нового поколения ИВК-ТК «Электро», который при минимальном объеме оборудования по сравнению с ПОИСК-ТК (2 стойки вместо 16) с одним центральным вычислительным средством ЭВМ МС УВТ В7, обеспечивал проведение необходимого объема проверок КА «Электро» на ТК.

Сравнительные эксплуатационные характеристики разработанных НПП ВНИИЭМ и изготовленных совместно с НИИЭМ испытательных комплексов приведены в таблице.

Эксплуатационные характеристики	Аист/АИС	ПОИСК	ИВК-ТК	ИВК-ПИ
Применение	ЗИ, ТК	ЗИ	ТК	ЗИ, ТК
Год разработки/применения	1969/1975	1985/1993	1988/1994	1997/1998
Занимаемая площадь, $м^2$	200	150	20	20
Количество стоек	18	16	2	2
Время развертывания, сутки	25÷30	30÷40	1	1
Возможность развертывания на временных рабочих местах МИКа	нет[a]	нет[a]	да	да
Потребляемая мощность, кВт	≈ 50 380В; 50, 400 Гц	≈ 30 380В; 50, 400 Гц	≤ 5 220В; 50 Гц	≤ 5 220В; 50 Гц
Наработка на отказ, ч	нет данных	24,5	более 300	более 635
Количество ЭВМ	1[b]/3[c]	24	2 [d]	1
Масса комплекса, кг	≥ 6000	≈ 6000	≤ 1000	≤ 1000
Время приведения в исходное, мин	30	30	30	10
Носитель испытательных программ	магнитная лента	гибкий диск	жесткий диск ПЭВМ	жесткий диск ПЭВМ
Носитель системного ПО	магнитная лента	гибкий диск, ППЗУ УВМ	ППЗУ УВМ	жесткий диск ПЭВМ
Средства подготовки ИП	УВМ комплекса	ПЭВМ со спец. ПО	ПЭВМ[e]	ПЭВМ со спец. ПО

[a] Требует монтажа и наладки силами специальной монтажной организации (бригады).
[b] ЭВМ комплекса размещалась в 9-ти стойках.
[c] Управляющая ЭВМ комплекса, ЭВМ обработки ТМИ (КОТИ), ЭВМ центрального пульта оператора.
[d] УВМ серии В7 и ПЭВМ.
[e] Особенности ПО комплекса не позволяют провести проверку и коррекцию ошибок написания и ввода ИП без ее исполнения комплексом.

44

Построение типового испытательного комплекса для электрических проверок КА и его составных частей

Автоматизированные системы контроля КА, созданные в различное время в НПП ВНИИЭМ, построены на основе двух архитектур: одномашинной (типа ИВК-ПИ) и многомашинной сетевой (типа ПОИСК). Те и другие автоматизированные системы контроля ориентированы на методику испытаний, основным содержанием которой является выдача управляющих воздействий и оценка реакции объекта контроля на выданное воздействие. Причем процесс выдачи воздействий и контроля реакций определенным образом планируется во времени с учетом алгоритма функционирования объекта контроля. Выдача воздействий и оценка реакций производится через технологические и штатные управляющие и информационные каналы, которые существенно отличаются друг от друга.

Одномашинные автоматизированные системы контроля отличаются, прежде всего, достаточно малым объемом оборудования, умеренной сложностью программного обеспечения, достаточной производительностью. Наиболее существенным недостатком таких автоматизированных систем контроля является ограниченные возможности наращивания оборудования связи с объектом контроля.

Многомашинные автоматизированные системы контроля с сетевой архитектурой весьма трудоемки и дороги в реализации, но обладают рядом положительных свойств, в первую очередь большой гибкостью и относительно легкой модифицируемостью, благодаря возможности подключения к сети новых периферийных микросистем связи с объектом контроля. Однако с ростом числа узлов сети, надежность сетевой системы и производительность начинают падать, возникают специфические сетевые проблемы.

Успешной попыткой использовать положительные свойства одномашинной структуры с расширением ее функциональных возможностей явилась разработка испытательного вычислительного комплекса ИВК-ПИ для подготовки КА «Ресурс-О1» №4 на заводе-изготовителе и технической позиции заказчика. В ИВК-ПИ используется ПЭВМ с интегрируемыми в ее состав устройствами связи с объектом контроля (платы аналогового ввода-вывода, цифрового ввода-вывода, аналоговые и цифровые коммутаторы), при этом отпала необходимость использования периферийной ЭВМ, как было выполнено в ИВК-ТК.

Принятая структура является одномашинной, в то же время обладает гибкостью и допускает развитие путем изменения и дополнения интегрируемых в состав ПЭВМ специальных плат.

В качестве ЦВМ применена персональная ЭВМ с процессором типа Pentium. Стандартная конфигурация ПЭВМ доукомплектована следующими устройствами, расширяющими ее функциональные возможности: PCL-726 – шестиканальный восьмиразрядный ЦАП; PCL-731 – сорокавосьмиканальное устройство цифрового ввода-вывода; PCL-818L – высокопроизводительный АЦП; PCX-797M – расширитель системной шины ISA ПЭВМ (ведущее устройство); PCX-797S – расширитель системной шины ISA ПЭВМ (ведомое устройство); PCA-6106 – шестислотовая пассивная материнская плата; ЛА-8М1 – АЦП с гальванической развязкой входов; УВТИ – плата приема ТМ-информации.

Структурная схема ПЭВМ комплекса ИВК-ПИ приведена на рис. 1. Структурные схемы многомашинных исполнительных комплексов ПОИСК и ИВК-ТК представлены на рис. 2 и 3, одномашинного исполнительного комплекса на рис.4, где АВВ – устройства аналогового ввода-вывода; ЦВВ – устройство цифрового ввода-вывода; БКД – блок формирования длительных команд; БКИ – блок формирования импульсных команд; БКП – блок формирования команд питания; БКС – блок контроля двухпозиционных сигналов; БКУ – блок команд управления; БКФС – блок контроля и формирования двухпозиционных и аналоговых сигналов; БСО – блок связи с ПРО; БУК – блок управления релейными командами; НИП – наземный источник питания; ПОС – пульт аварийных отключений и сигнализации; ПРО – пульт ручных операций; ЦВ – цифровой вольтметр.

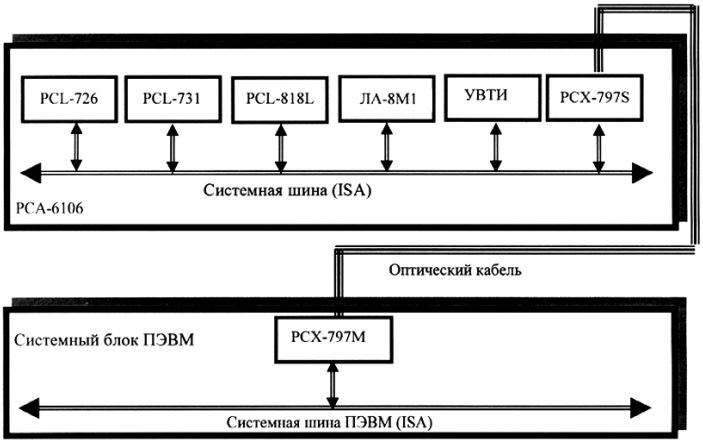

Рис.1. Структурная схема ПЭВМ комплекса ИВК-ПИ

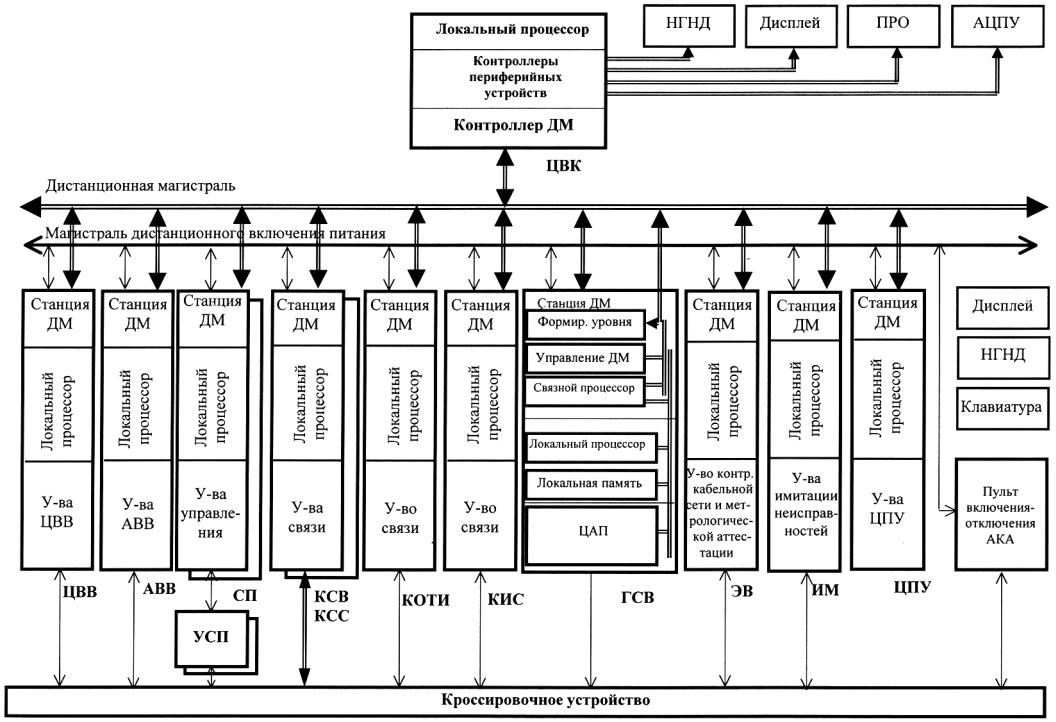

Рис. 2. АИС ПОИСК на основе локальной управляющей сети

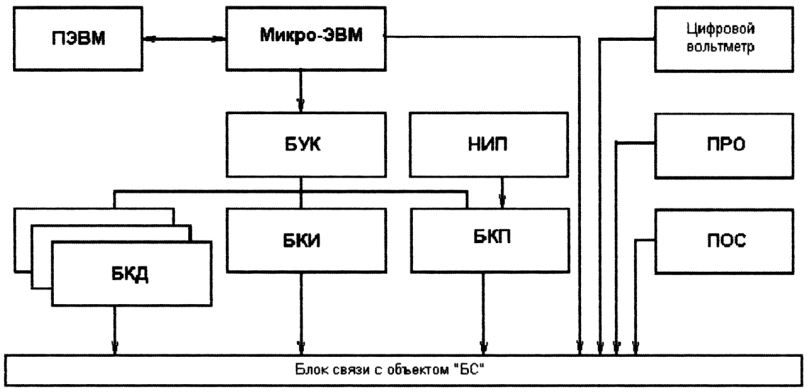

Рис. 3. Функциональная схема ИВК-ТК

Таким образом в НПП ВНИИЭМ совместно с НИИЭМ (г. Истра) разработан и изготовлен целый ряд автоматизированных испытательных комплексов. В настоящее время для испытаний КА последних разработок используется автоматизированная испытательная система последнего поколения ИВК-ПИ для проверок КА на заводе-изготовителе и на технической позиции, а также ИВК-СК для подготовки КА на стартовых позициях (СК) полигонов.

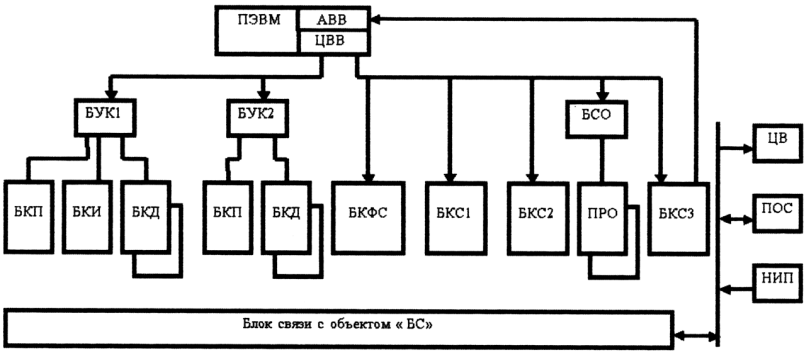

Рис. 4. Функциональная схема ИВК-ПИ

При разработке программного обеспечения (ПО) ИВК-ПИ учтен опыт создания двух поколений автоматизированных испытательных систем – одномашинной и многомашинной сетевой архитек-

туры, а также подходы к наземным электрическим испытаниям КА, выработанные в НПП ВНИИЭМ в результате экспериментальной отработки и эксплуатации нескольких типов КА.

Пользователь (испытатель) взаимодействует со входами и выходами испытываемого КА на логическом (мнемоническом) уровне: характеристики испытываемого КА, определяющие физический уровень взаимодействия объекта и испытательной системы (координаты точек приложения воздействий и съема сигналов реакций), сосредоточены в базе данных (БД) ИВК-ПИ.

При проверках КА на всех этапах его подготовки (ЗИ, ТК, СК) комплексы ИВК, работая под управлением специального разработанного программистами НПП ВНИИЭМ ПО, выполняют следующие функции:

• испытание КА в различных режимах:

- автоматическом в реальном масштабе времени, когда переход к следующей операции технологических программ (испытательных инструкций) происходит в зависимости от результата и заданных условий выполнения инструкций,

- шаговом, когда переход к следующей операции технологических программ происходит только по указанию оператора,

- ручном с визуальным и автоматическим контролем, когда выполняются только указания оператора без участия технологических программ,

- подготовки и ввода исходной информации;

• автоматический обмен информацией с:

- вычислительными бортовыми устройствами испытуемого КА, типа БУС (выполненный на базе бортовой ЭВМ – МСУ В6) по каналу последовательного технологического интерфейса,

- наземной станцией командно-измерительной системы,

- имитаторами внешней среды,

- КПА бортовых систем, участвующих в испытаниях КА;

• программно-логический анализ принятой информации, в том числе:

- автоматический контроль по алгоритмам, заложенным в технологические испытательные программы (инструкции),

- контроль по алгоритмам, по запросу оператора,

- распознавание аварийных ситуаций,

- контроль готовности и набора исходных состояний;

• обеспечение КА электропитанием с непрерывным контролем основных параметров источников питания;

• обеспечение подзаряда бортовых аккумуляторов через систему электропитания (СЭП) КА;

• выдачу команд управления через КПА командной радиолинии (КРЛ);

• выдачу на КА технологических воздействий;

• осуществление автоматического многоканального приема аналоговых, дискретных и цифровых сигналов от систем КА;

• обеспечение приема, контроля достоверности и обработку телеметрической информации (ТМИ), поступающей из бортового аппарата телеизмерений (БАТИ);

• обеспечение непрерывного контроля величины сопротивления изоляции шин питания относительно корпуса КА;

• реализацию режима диалога ОПЕРАТОР-ИВК в процессе испытаний;

• осуществление визуального отображения и протоколирование процесса испытаний.

Возможности модификации испытательных комплексов для различных КА

Дальнейшее развитие КА ставит новые задачи перед испытательными комплексами. Так, появление на борту КА новой бортовой аппаратуры (БА) командной радиолинии, принципиально отличающейся от предшествующей, вызывает необходимость введения в состав испытательного комплекса КА наземных радиотехнических средств в виде наземной станции (КПА) радиотехнической линии. Для управления этой аппаратурой в ходе автоматизированных проверок КА в состав ПЭВМ ИВК-ПИ введена специальная плата с интерфейсом Ethernet, а также существенно доработано ПО ИВК. По вновь организованному каналу будет проводиться передача специальных процедур от ИВК на наземный радиотехнический комплекс командной радиолинии для организации обмена с БА командной и программной информацией.

Другой немаловажной модернизацией комплекса ИВК-ПИ является расширение возможностей комплекса по обеспечению подзаряда новых бортовых аккумуляторов КА большим количеством источников постоянного тока, из-за резкого увеличения мощности бортовой системы энергоснабжения. Так как базовый испытательный комплекс ИВК-ПИ обладает резервной избыточностью, в частности по коммутирующим элементам, то введение дополнительного количества источников тока со схемой их коммутации и контроля не представляет особых трудностей. Таким образом, проведя необходимую модернизацию наиболее развитого комплекса ИВК-ПИ, представляется возможность для подготовки нового КА типа «Ресурс-О1» на всех этапах его подготовки. По такому же пути пошли на предприятии НИИЭМ (г. Истра), проведя необходимые

доработки комплекса ИВК-ПИ, который проводит подготовку к эксплуатации КА типа «Метеор-3М».

Наряду с модернизацией аппаратных средств испытательных комплексов типа ИВК изменения могут быть проведены в программном обеспечении ПО ИВК. Универсальность ИВК и его ПО обеспечивается использованием концепции разделения задачи проведения испытаний на две части: создание, отладка и прогон силами непрофессиональных в области программирования пользователей (операторов-испытателей) комплекта испытательных программ (ИП) и создание необходимого для их реализации инструментария, скрывающего от пользователя глубинные слои весьма сложно устроенной системы, в роли которого выступает ПО ИВК. При модернизации программы подготовки ИП, постобработки результатов испытаний и системы управления базой данных ИВК средства ПО ПЭВМ общего назначения (дисковые операционные системы и их оболочки, редакторы, системы программирования, программы сборки и настройки) используются одни и те же. Наращивание средств ПО обеспечивается, в основном, модификацией языка пользователя испытательной системы, базы данных и компоновкой новых программных средств из набора модулей базового исполнения ПО ИВК [2].

В настоящее время развивается новое направление в создании КА – малых космических аппаратов (МКА). В НПП ВНИИЭМ разрабатывается семейство МКА, имеющее общую для всех космическую платформу, в состав которой входят две бортовые ЭВМ разработки НПП ВНИИЭМ. Для испытаний МКА также предлагается использовать имеющиеся в эксплуатации комплексы ИВК. В частности, для этой цели можно использовать испытательный комплекс ИВК-ТК «Электро», имеющий в своем составе все необходимые аппаратные средства, в том числе информационные каналы обмена с двумя бортовыми ЭВМ. Модернизация комплекса ИВК-ТК предполагает замену вычислительных средств комплекса и устройств цифрового и аналогового ввода/вывода на более современные устройства и доработку ПО.

В принципе можно было бы использовать для испытаний МКА все тот же комплекс ИВК-ПИ, проводя в нем небольшие изменения, но так как предполагается одновременная подготовка двух разных КА (типа «Ресурс-О1» и МКА), использование для МКА модернизированного комплекса ИВК-ТК «Электро» позволит вести параллельную подготовку двух и более КА на разных рабочих местах.

Структурно-функциональная схема соединения при испытаниях МКА с комплексом ИВК-ТК представлена на рис. 5.

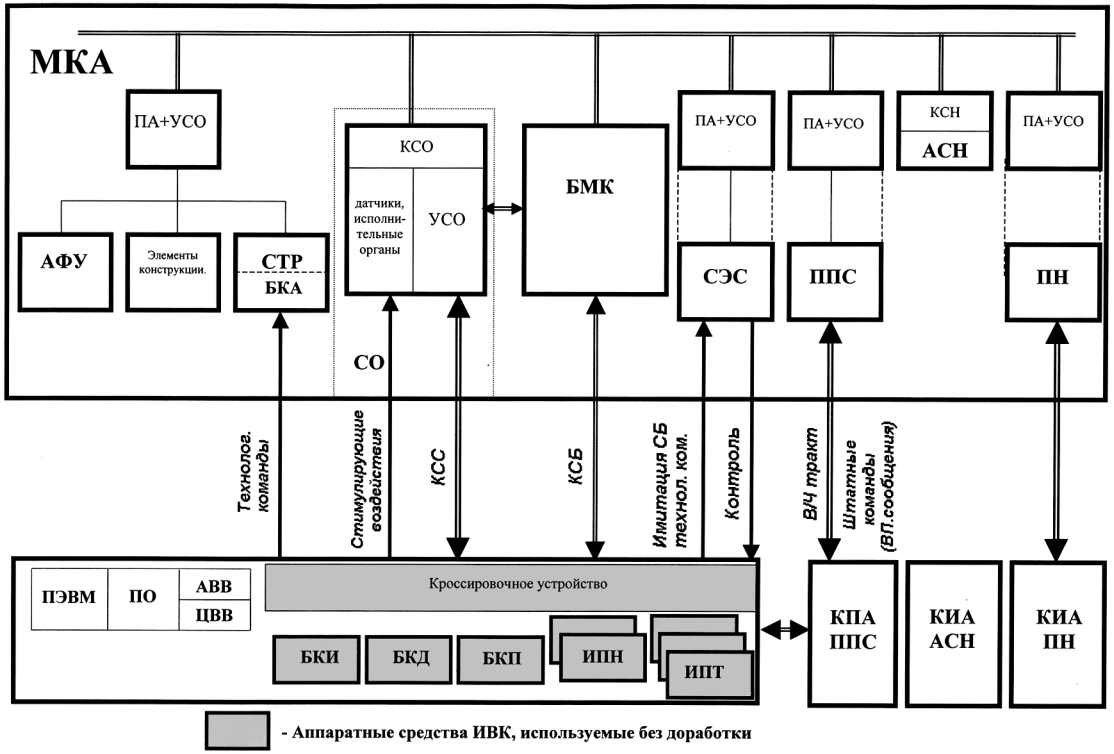

Рис. 5. Структурно-функциональная схема соединения МКА и ИВК-ТК

Следует отметить, что в составе испытательных комплексов типа ИВК имеется набор аппаратных и программных средств, необходимых для проведения проверок всех бортовых систем и устройств. Это позволит при минимальных изменениях в кабельных кроссировках (имея набор коротких наземных кабелей) проводить проверки бортовых служебных систем без применения специального КПА этих систем (о чем шла речь в начале этой статьи).

Выводы

Даже краткий обзор испытательных комплексов, созданных в НПП ВНИИЭМ для подготовки КА различных составов и назначений, раскрывает довольно глубокую и профессиональную работу, проводимую коллективом специалистов в этой области.

Опыт разработки и эксплуатации автоматизированных испытательных комплексов показал возможность использования многих отработанных узлов и большого объема имеющихся заделов.

Правильность реализованных технических решений в созданных наземных испытательных комплексах подтверждена практическими работами по подготовке к пускам КА «Электро», «Ресурс-О1». Положительные результаты испытаний и эксплуатации КА на орбите показали, что алгоритмы испытаний реализованы достаточно полно, заложенные принципы аппаратного построения ИВК правильны, разработанный входной язык и комплекс ПО позволяют создать и проводить испытания Головному предприятию-разработчику перспективных КА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание испытательных вычислительных комплексов типа ИВК для КА «Электро» и «Ресурс-О1» /*Акопов Г.А., Шехтман А.Г., Платонов А.Б.* // Труды ВНИИЭМ. Т 99. М.: 1999.

2. Опыт создания универсальных средств автоматизированных испытаний космических аппаратов геофизического наблюдения /*Бражников С.Ф., Исайкин В.М., Матвеева А.М., Раковский Г.С.* // Труды ВНИИЭМ. Т 83. М.: 1987.