

УДК 629.78

Канд. техн. наук А.Г. Меланченко, Н.Ф. Лелюк, Е.В. Маркош

ПУЛЬТЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ КА: ЭВОЛЮЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

В статье представлены технические решения, реализованные в ранних разработках пультовой аппаратуры для испытаний КА, а также рассмотрены направления, которые приняты для реализации в современных разработках ГП "КБ "Южное" для испытаний перспективных КА.

У статті подано технічні рішення, реалізовані в ранніх розробках пультової апаратури для випробувань КА, а також розглянуто напрями, які взято для реалізації в сучасних розробках ДП "КБ "Південне" для випробувань перспективних КА.

Article dwells on the technical solutions used in the earlier developed control panel equipment for SC testing, as well as on trends to be pursued in the up-to-date designs of Yuzhnoye SDO for the testing of the advanced SC.

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальная отработка и испытания сложных технических объектов, которыми являются космические аппараты (КА), являются важнейшим этапом опытно-конструкторских работ и во многом определяют эффективность жизненного цикла изделия. С течением времени все аспекты и факторы испытательной практики эволюционируют. Системные, комплексные подходы к решению научных и прикладных проблем, доминирующие в настоящее время в различных областях науки и техники, безусловно, являются ключевыми и при создании современной испытательной аппаратуры, и в особенности пультов управления испытаниями, задачей которых является координация процесса комплексных испытаний бортового аппаратного комплекса КА.

В настоящей статье рассмотрены инженерные решения, реализованные при создании технических средств управления испытаниями как элемента электрического наземного вспомогательного оборудования КА на протяжении временного интервала от первого спутника ГП "КБ "Южное" ДС-2 до перспективных разработок космической техники.

За прошедшие полвека работ ГП "КБ "Южное" совместно с кооперацией других предприятий разработало свыше 70 типов КА, сдало в эксплуатацию 15 космических

комплексов, осуществило запуск на орбиту более 400 КА собственной разработки. Анализ характеристик пультов управления испытаниями КА, разработанных в прошлом, и направлений сегодняшних разработок позволит ретроспективно оценить технический уровень изделий, планируемых для использования при испытаниях перспективных КА.

ПЕРВЫЕ ПУЛЬТЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ

В 1960 г. на ГП "КБ "Южное" (в то время – ОКБ-586) была выделена группа специалистов для создания ракеты-носителя на базе баллистической ракеты средней дальности Р-12 и собственного спутника и, в дальнейшем, для развертывания полноценных работ по созданию космической техники. И уже 16 марта 1962 г. ракетой-носителем 63С1 был успешно выведен на орбиту наш первенец – спутник ДС-2.

Для испытаний первых КА серии ДС были разработаны пульты управления, обеспечившие решение следующих основных задач:

- коммутация электропитания аппаратуры КА от наземного или бортового источника тока при помощи наземного щитка (НЩ);

- выдача на борт КА через НЩ команд на включение (выключение) питания какого-либо из бортовых приборов и контроль

их исполнения;

- формирование и выдача на борт КА команд управления работой бортовой аппаратуры (выбор режимов работы, их изменение и т.п.);

- измерение физических параметров, описывающих условия, в которых испытывается бортовая аппаратура (рабочая температура приборов, давление газовой среды, напряжение электропитания).

Структурная схема испытаний, обеспечиваемых контрольно-проверочной аппаратурой (КПА) и пультами, разработанными для применения к первым КА, приведена на рис. 1. НЩ должен был минимизировать падение напряжения в цепях управления и электропитания, для чего размещался максимально близко к КА. Внешне пульты управления первыми КА имели корпуса прямоугольной формы из дюралюминия

или стали, имеющие на передней панели все элементы управления и контроля (тумблеры, кнопки, переключатели, стрелочные измерительные приборы, индикаторы наличия (отсутствия) контролируемых сигналов). Элементами электрической схемы пульта были электромагнитные реле типа 8Э, РПС (реле поляризованные слаботочные), и т.п. В качестве индикаторов были применены транспаранты, выполненные для надежности на двух лампочках накаливания, закрепленных в одном пластмассовом корпусе. В конструкции транспарантов предусматривалось применение цветных или матовых светофильтров с надписями, содержащими название контролируемого сигнала. Заменой фильтра достигалась возможность использования пульта управления при работе с различными КА.

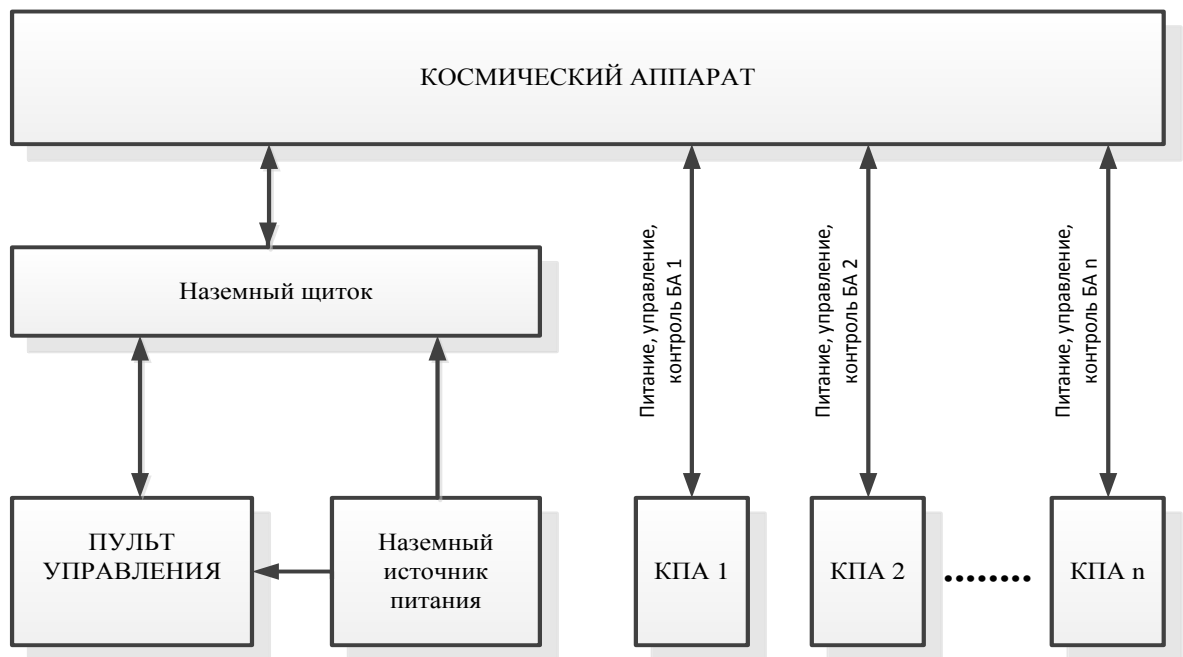


Рис. 1. Структурная схема испытаний первых КА

С точки зрения сегодняшнего дня такой пульт кажется примитивным. Однако уже в первых образцах были реализованы актуальные и сейчас идеи универсализации испытательного оборудования. Конструктивные и схемные решения, реализованные в пультах для испытаний при изготовлении и подготовке к запуску на космодроме КА типа ДС-А1, ДС-П1, ДС-К8, позволили

применить эти пульта в работах с КА типа ДС-У1, ДС-У2, ДС-У3 с незначительными доработками (в основном, замена надписей на светофильтрах транспарантов, отражающих наименование контролируемых сигналов).

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ КА "ЦЕЛИНА-Д"

К следующему этапу развития техники испытательных пультов следует отнести инженерные решения, воплощенные в аппаратуре центрального пульта управления и контроля испытаниями (ЦПУ и К) КА "Целина-Д".

Необходимость серийного изготовления КА (за период с 1970 по 1994 гг. было запущено около 70 КА этого типа) потребовала повысить оперативность и качество работы оператора, а для этого важно было обеспечить максимальную объективность информации о ходе выполнения проверок. Для этого в схеме ЦПУ и К использовано дистанционное управление и контроль работы наземных источников питания, зарядно-разрядного устройства бортовых химических батарей, а также КПА систем КА.

Структурная схема испытаний КА "Целина-Д" с использованием ЦПУ и К приведена на рис. 2. Как это следует из рисунка, пульт, являясь элементом наземного комплекса аппаратуры, обеспечивающей испытания КА, электрически сопряжен:

- с БА КА (бортовой аппаратурой КА);

- с наземным испытательным оборудованием;

- с КПА БА КА.

Пульт ЦПУ и К выполнял следующие функции:

- выдачу команд на включение наземного источника питания с использованием пульта дистанционного управления источниками питания (ПДУ ИП);

- дистанционную регулировку значений напряжений наземных источников питания;

- переход на бортовые источники питания;

- выдачу команд на включение и выключение аппаратуры КА;

- контроль значений напряжений на бортовых шинах питания;

- контроль включенного (выключенного) состояния цепи питания БА;

- измерение температуры газа внутри корпуса КА и в баллонах ГРС (газореактивной системы);

- контроль замыкания цепи питания на корпус КА.

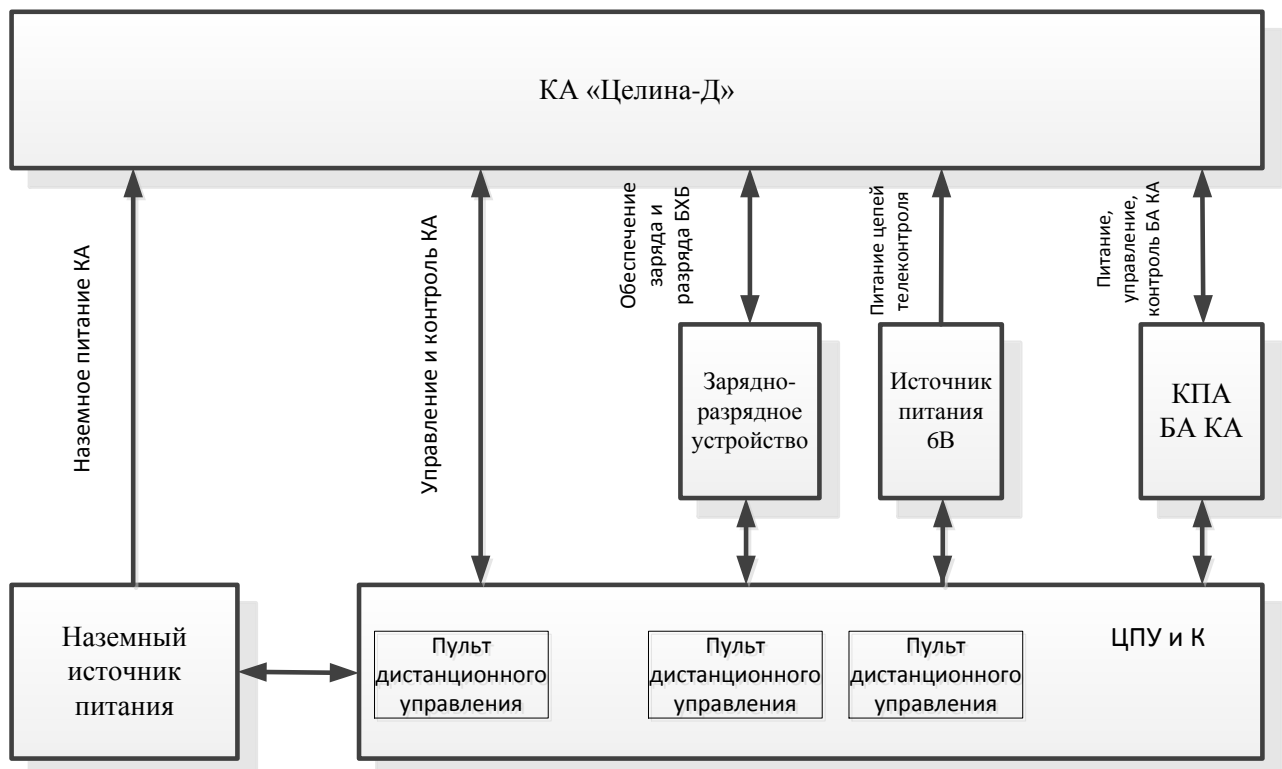


Рис. 2. Структурная схема реализации испытаний КА "Целина-Д"

Конструктивно ЦПУ и К был выполнен в виде стола со стойками, в которых размещены отдельные блоки, соединенные с помощью комплекта жгутов. Блочное исполнение позволяло упростить процесс доработок (или ремонта) ЦПУ и К, а также давало возможность отдельной транспортировки составных частей пульта.

В процессе испытаний оператор ЦПУ и К должен был принимать информацию о ходе процесса (доклады операторов КПА, являющихся номерами расчета по испытаниям КА, индикация на пульте), оперативно оценивать ее и выдавать технологические команды управления КА. Как и при организации испытаний первых КА, для испытаний КА "Целина-Д" использовался простейший способ синхронизации работы операторов с помощью голосовой (ларингофонной) связи между ними. Перегрузка оператора ЦПУ и К задачами оперативной оценки хода испытаний и возможные искажения при слуховом восприятии информации часто приводили к необходимости повторения циклов испытаний. Качество процесса испытаний определялось не только особенностями оператора (физиологическими, психологическими), но и качеством документации по испытаниям. Были разработаны руководства по составлению инструкций для испытаний, регламентирующие формат представления информации, нормирующие применяемые термины. Для объективной оценки работы операторов указания о выдаче команд и доклады об их исполнении, передаваемые в сети голосовой связи между ними, записывались на магнитофон. Однако полностью исключить влияние человеческого фактора на качество процесса испытаний КА на том этапе было невозможно.

УНИФИЦИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КА ВОЕННОГО, НАУЧНОГО И НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Следующий этап развития подходов к управлению испытаниями связан с задача-

ми испытаний КА различного назначения, созданных на ГП "КБ "Южное" в 70-е годы прошлого столетия. В то время основными заказчиками – Министерством обороны и Академией наук СССР – были инициированы разработки большого количества КА, имеющих самое разнообразное приборное оснащение. В результате анализа характеристик разрабатываемых КА была выдвинута идея создания унифицированного контрольно-испытательного комплекса (КИК-У) и проведена его разработка. Технические характеристики комплекса обеспечили его применение в течение почти 35 лет (с 1970 по 2004 гг.) для испытаний КА различного назначения: военного ("Тайфун", "Дуга", "Кольцо", "Целина-Р", "Целина-2"); научного (АУОС-3 – автоматическая универсальная орбитальная станция с ориентацией на Землю, АУОС-СМ – автоматическая универсальная орбитальная станция с ориентацией на Солнце, в том числе по программе "Интеркосмос"); народно-хозяйственного (НХ, "Океан-ОЭ", "Океан-О1", "Океан-О").

Структурная схема КИК-У представлена на рис. 3. Комплекс позволил на качественно новом уровне разрешить следующие актуальные для испытаний КА проблемы:

- аппаратная регистрация команд, выдаваемых оператором на борт КА, и сигналов контроля состояния бортовой и наземной аппаратуры;
- обеспечение индикации единого времени на всех рабочих местах, на которых работают операторы, выполняющие испытания КА;
- адаптация схемы испытательного оборудования к схеме КА путем кроссирования входных и выходных элементов, реализуемой в специальном блоке;
- автоматический учет расхода ресурса БА;
- автоматическая проверка целостности и разобщенности цепей пирозащитных элементов;
- автоматическая непрерывная запись на бумажный носитель показаний датчиков температуры.

Конструктивно КИК-У был выполнен в виде четырех отдельных стоек и пульта оператора с двумя табло, между которыми размещались клавиатура для набора команд, органы дистанционного управления наземным источ-

ником питания и зарядно-разрядным устройством бортовой химической батареи (БХБ), а также цифровой индикатор многофункционального измерительного прибора.

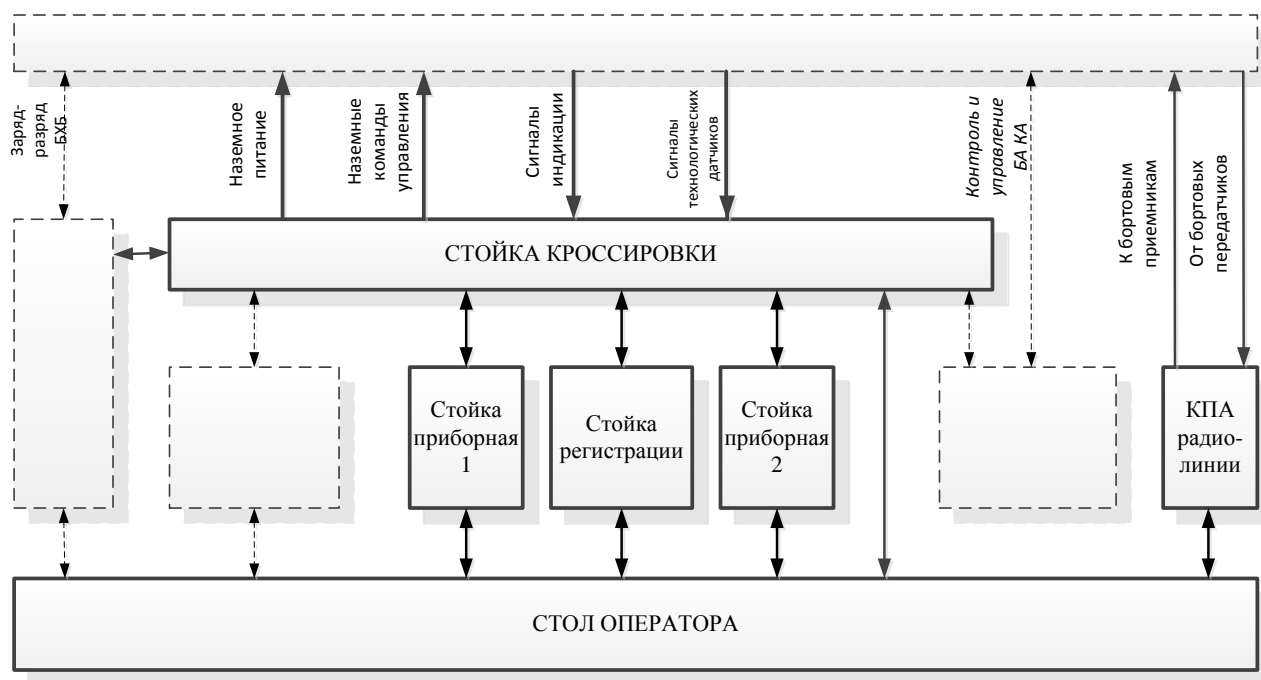


Рис. 3. Структурная схема КИК-У

КОМПЬЮТЕРИЗОВАННЫЙ ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ

Бурное развитие вычислительной техники привело в конце прошлого столетия к радикальному изменению облика КА, превратившихся в многопроцессорные вычислительные системы. КПА также стали проектировать на базе высокопроизводительных ПЭВМ. Это потребовало адекватных изменений в организации испытаний КА, создаваемых ГП "КБ "Южное", в том числе повышения уровня их автоматизации, что позволило снизить негативное влияние человеческого фактора за счет внедрения контроля правильности действий оператора. Гибкость электрического наземного вспомогательного оборудования, обеспечиваемая возможностью перепрограммирования логики проверок без доработки аппаратуры, обеспечила защиту инвестиций в

условиях прекращения серийного производства КА.

Для первого КА нового поколения – микроспутника "Микрон" – в 2001 г. был создан центральный пульт управления комплексными испытаниями (ЦПУ КИ), который с незначительными доработками обеспечил впоследствии испытания целого ряда КА на платформе МС-2 ("Микросат", EgyptSat-1, "Січ-2"). Весь процесс испытаний разбит на последовательность циклов, получивших название комплексных программ работы (КПР). Началом программы является формируемая ЦПУ КИ команда "Пуск", а завершением – команда полного выключения питания КА. ЦПУ КИ в процессе выполнения КПР администрирует локальную сеть, объединяющую все КПА, обеспечивает оперативный контроль хода программы и получение полного объема телеметрической информации для оценки

работоспособности КА и его подсистем после завершения КПП. Для обеспечения корректного выключения подсистем КА, запитанных от бортового источника тока, при исчезновении питания от промышленной сети в схеме ЦПУ КИ применен источник бесперебойного питания (ИБП). Структурная схема, в которой отражены основные особенности аппаратного взаимодействия ЦПУ КИ с КПА и аппаратурой обработки телеметрической информации (АОТМИ), приведена на рис. 4.

При решении задачи испытаний КА ЦПУ КИ выполняет следующие основные функции:

- подготовку, корректировку и архивирование планов работы и файлов исходных данных сеансов связи (ИДСС) с КА;
- выдачу в КПА планов работы БА в виде файлов с планами работы и ИДСС;
- передачу в КПА сетевых команд и прием сообщений об их исполнении с привязкой к наземной шкале времени;
- получение из КПА подсистемы связи пакетов телеметрической информации;
- передачу в КПА массивов телеметрической информации КА для анализа;
- имитацию замыкания датчика отделения КА от РН для включения аппаратуры КА;
- выдачу команды на отключение электропитания подсистем КА;
- контроль отключенного состояния КА;
- приведение шкалы времени в файлах планов работы и ИДСС к шкале реального времени в момент запуска процесса испытаний;
- получение от КПА файлов-отчетов по результатам выполнения плана работы с указанием наработки соответствующей подсистемы;
- ведение, документирование и архивирование протокола испытаний КА по каждой КПП;
- проверку сетевого информационного обмена ЦПУ с КПА по протоколам ТСР/IP и FTP перед началом испытаний КА;

- отображение на мнемосхеме показаний температурных датчиков подсистемы терморегулирования КА и сигнальных датчиков конечного положения панелей СБ;
- загрузку в память подсистем КА программного обеспечения, технологических и стартовых полетных заданий;
- контроль наличия напряжения на шинах электропитания бортовой аппаратуры;
- контроль целостности мостиков электровоспламенителей;
- контроль отсутствия гальванической связи шин бортового питания с корпусом КА;
- самопроверку в процессе регламентных работ и перед испытаниями КА.

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КА

Для испытаний перспективных КА предлагаются технические решения, основанные на передовых технологиях создания автоматизированной системы управления техническими процессами (АСУ ТП) в различных отраслях промышленности. Основным направлением совершенствования испытательного оборудования является внедрение SCADA-технологий. SCADA (от англ. *Supervisory Control And Data Acquisition* –

) – это программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте и ходе процесса испытаний. SCADA-системы используются во всех отраслях промышленности, в которых требуется обеспечивать операторский контроль технологических процессов, в том числе процессов испытаний, в реальном времени. Программный код SCADA-системы может быть сгенерирован непосредственно в среде разработки, что исключает необходимость программирования.

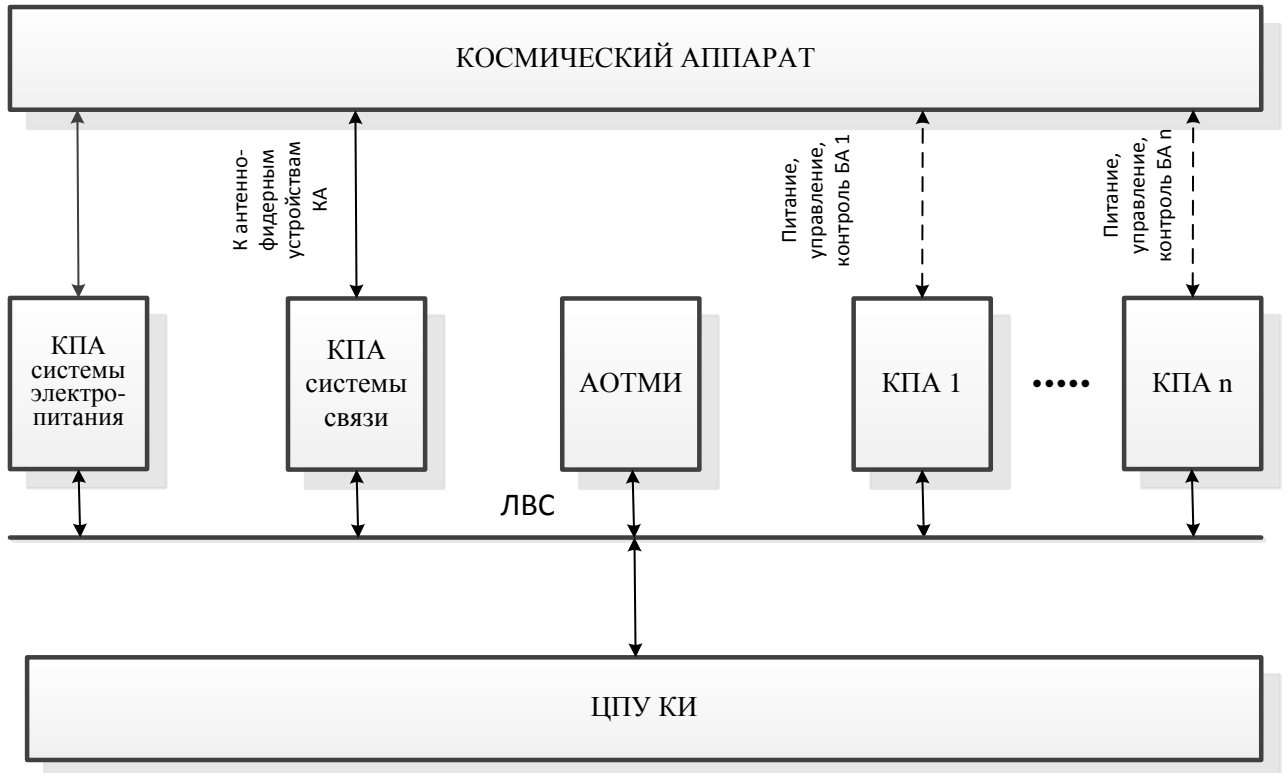


Рис. 4. Структурная схема автоматизированных испытаний КА, реализованная с применением ЦПУ КИ

Для аппаратной реализации перспективного испытательного оборудования предлагается использовать серийно производимые ведущими компаниями (National Instruments, США; Advantech, Тайвань и т.п.) модули ввода-вывода различных сигналов, сопрягаемые с ПЭВМ посредством локальной вычислительной сети (ЛВС), и, при необходимости, измерительные приборы, также сопрягаемые с ПЭВМ. Предлагаемая архитектура построения испытательного оборудования позволяет наращивать возможности оборудования по количеству и типу контролируемых параметров и возможности выдачи команд в зависимости от требований конкретного объекта испытаний путем увеличения количества дискретных модулей благодаря применению универсального крепления на DIN-рейку, не нарушая логику построения оборудования. Такой подход к созданию испытательного оборудования обеспечивает снижение материальных и временных затрат на разработку и изготовление оборудования за счет применения серийно производимых, функционально законченных, готовых к применению модулей, имеющих стандартные интерфейсы, и SCADA-систем, минимизирующих трудозатраты при адаптации к конкретному объекту испытаний.

Аналогичную концепцию предполагается реализовать для создания технологического пульта управления испытаниями КА "Січ-2М", призванного прийти на смену морально и физически устаревшему ЦПУ КИ.

Список использованной литературы

1. Призваны временем/Под ред. С.Н. Конюхова. – Дн-ск: Арт-Пресс, 2009. – 830 с.
2. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро "Южное"/ А.Н. Машенко, В.Н. Паппо-Корыстин, В.А. Пащенко и др./Под общей ред. С.Н. Конюхова. – Днепропетровск: ГКБ

Примером практической реализации описанного подхода может служить КПА для проверок жидкостной реактивной двигательной установки (ЖРДУ). Эта КПА представляет собой ноутбук и устройства сопряжения (УСО) с объектом испытаний (ЖРДУ), соединенные кабелями и размещенные в компактном приборном шкафу. В качестве УСО использованы модули ADAM серии 6000 компании Advantech, позволяющие контролировать следующие параметры ЖРДУ:

- температуру двигателей управления;
- давление в магистралях и баках;
- величину напряжения питания КПА;
- целостность цепей пирозащитных элементов обтеканием безопасным током;
- управление открытием (закрытием) электроклапанов и включением (отключением) управляющих двигателей.

Вся информация о состоянии испытываемой аппаратуры выводится на дисплей ноутбука в виде мнемосхемы и документируется в автоматическом режиме.

Основой конструкции КПА является шкаф FlatBox компании Rittal. Структурная схема реализации испытаний ЖРДУ с использованием модулей серии ADAM-6000 представлена на рис. 5.

"Южное" им. М.К. Янгеля", 2000. — [ISBN 966-7482-00-6](https://doi.org/10.26907/2541-7746.2015.2.108-113).

3. Барт Хендрикс (Bart Hendricks). Слежение за радарными: история советских (российских) спутников глобальной радиосигнальной разведки. – Space Chronicle, Suppl. 3, 2010. – 52 p.

4. Меланченко А.Г., Угланов В.С. Повышение эффективности функциональных испытаний космического аппарата//Вестн. ДНУ. Сер. РКТ. – 2013. №2(17). – С. 145 – 151.

Статья поступила 10.07.2015