

УДК 621.31

Ю.А. Шурыгин, В.Н. Мишин, Ю.А. Кремзуков

## Аппаратно-программный комплекс автоматизации процессов предстартовых испытаний систем энергообеспечения космических аппаратов

Предложен аппаратно-программный комплекс автоматизации процессов предстартовых испытаний систем энергообеспечения космических аппаратов с использованием имитаторов солнечных, аккумуляторных батарей и нагрузочных устройств, а также рассмотрен процесс испытаний космических аппаратов в условиях, приближенных к эксплуатационным.

**Ключевые слова:** аппаратно-программный комплекс, система энергообеспечения космического аппарата.

Тенденции увеличения мощности бортового электрооборудования (до 12–15 кВт) и срока активного существования (до 10–15 лет) космических аппаратов (КА) привели к повышению требований, предъявляемых к системам энергообеспечения (СЭП) [1, 2]. Достижение этих целей требует решения сложных задач проектирования и отработки аппаратуры энергообеспечения КА. При функциональном контроле, разработке и испытаниях в наземных условиях проверяются как отдельные блоки СЭП КА, так и весь комплекс электрооборудования в нормальных и аварийных режимах работы с целью гарантирования их работоспособности в течение срока активного существования в условиях космического пространства. Для решения данных задач используется специализированное оборудование, обладающее высокой надежностью, высокой скоростью обработки информации, отвечающее современным требованиям по электромагнитной совместимости и соответствующее установленной мощности СЭП КА [3].

По мере накопления опыта по разработке и исследованию космической техники стало очевидным, что полная физическая имитация технических характеристик бортовых источников энергии требует слишком больших затрат. К примеру, использование солнечной батареи в качестве первичного источника энергии СЭП КА в наземных условиях требует использования больших помещений и специальных стендовых устройств для обеспечения заданных условий освещенности и температуры (мощных осветителей, систем термостабилизации и др.), что технически трудно осуществимо и экономически нецелесообразно. Использование же реальных аккумуляторных батарей (АБ) ведет к длительному времени отработки и испытаний КА, так как в силу длительности электрохимических процессов, протекающих в АБ, невозможно быстрое изменение их режимов работы и состояния (напряжения, степени заряженности, температуры, давления).

Поэтому наряду с физическим моделированием развиваются и другие направления. Например, метод имитационно-физического моделирования, при котором отдельные компоненты систем электропитания заменяются эквивалентами (имитаторами). Имитаторы позволяют с требуемой точностью воспроизвести характеристики устройств в реальном масштабе времени, при существенно меньших затратах, произвести имитацию многократного изменения режимов функционирования бортовых источников электроэнергии.

При проведении испытаний и отработке бортовых систем и космических аппаратов в целом все имитаторы аппаратуры энергообеспечения СЭП должны работать в единой системе, имитируя в реальном времени всевозможные режимы работы. Например, заряд аккумуляторной батареи и осуществление питания от солнечных батарей, в то время когда спутник находится на «солнечной стороне», осуществление питания бортовых систем только от аккумуляторных батарей, когда спутник «в тени» и т.д. Проведение испытаний такого уровня требует применения единой автоматизированной системы контроля.

В самом общем виде процесс испытания и исследования СЭП КА с помощью имитационного моделирования представлен на рис. 1.

На рис. 2 представлен аппаратно-программный комплекс автоматизации процессов предстартовых испытаний систем энергообеспечения КА [3], позволяющий расширить функциональные

возможности за счет добавления имитаторов солнечных, аккумуляторных батарей и нагрузочных устройств, что позволяет обеспечить полный контроль аппаратуры СЭП.

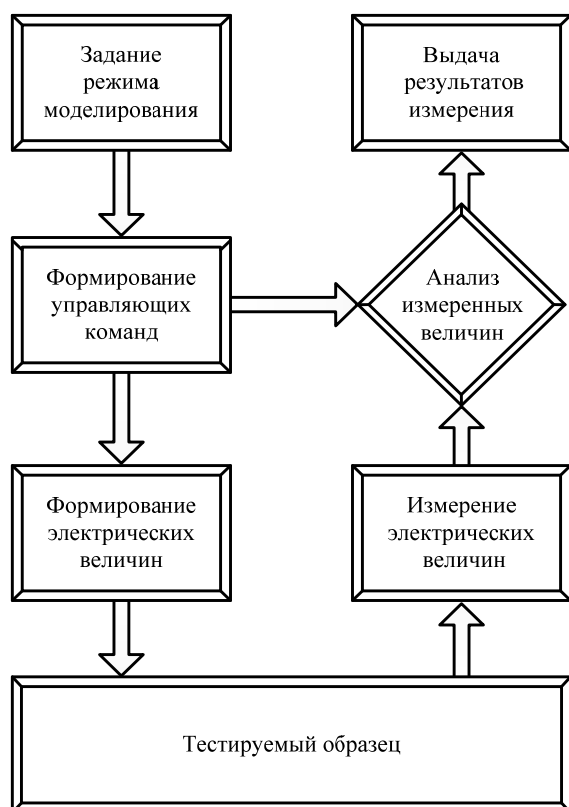


Рис. 1. Процесс испытания и исследования СЭП КА

солнечной батареи спутника, находящегося на любом типе рабочей орбиты (геостационарная, круговая и др.), т.е. имеет возможность имитации режимов «вход в тень», «выход из тени», а также промежуточных, с изменением длительности данных режимов [4].

Аппаратно-программный комплекс (АПК) представляет собой гибкую и надежную систему. АПК выполнен в виде отдельных законченных устройств, каждое из которых может работать как отдельно (используя встроенный промышленный контроллер), так и в составе АПК под управлением персонального компьютера, который обеспечивает реализацию рабочих режимов и алгоритмов функционирования системы путем обмена управляющей и измерительной информацией по Ethernet-интерфейсу. АПК осуществляет самоконтроль основных электрических параметров, диагностику параметров питающей сети и исключает аварийные ситуации при несанкционированном пропадании напряжения питающей сети.

АПК представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, размещаемый на рабочем месте оператора, обладающий гибкой структурой, адаптируемой под конкретное применение. Имитатор солнечной батареи используется для исследования, экспериментальной отработки и испытаний любых структур СЭП КА автономно или комплексно, в которых в качестве первичного источника энергии используется солнечная батарея. Данное устройство воспроизводит на своих выходных шинах статические и динамические характеристики солнечной батареи. Имитатор позволяет воспроизводить работу солнечной батареи спутника, находящегося на любом типе рабочей орбиты (геостационарная, круговая и др.), т.е. имеет возможность имитации режимов «вход в тень», «выход из тени», а также промежуточных, с изменением длительности данных режимов [4].

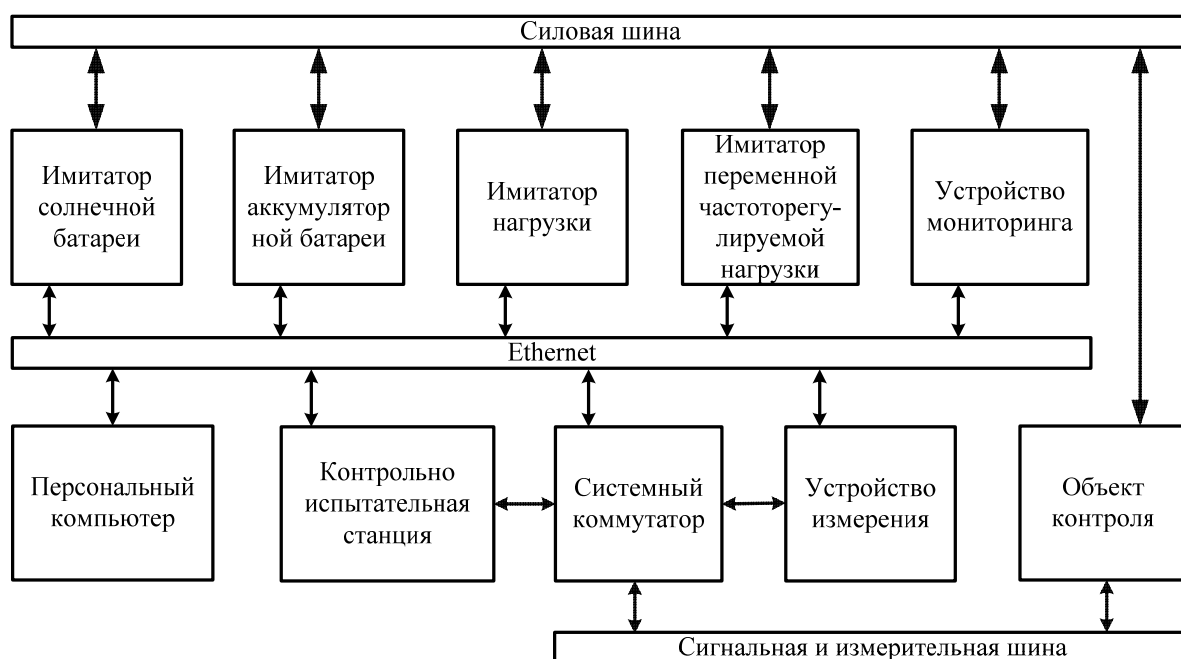


Рис. 2. Аппаратно-программный комплекс автоматизации процессов предстартовых испытаний систем энергообеспечения КА

Имитатор аккумуляторной батареи предназначен для воспроизведения всех режимов работы аккумуляторной батареи при ее заряде и разряде. Кроме того, производит имитацию изменения напряжения на каждом аккумуляторном элементе и имитацию датчиков давления, температуры. Имитатор обеспечивает полноту электрических проверок автоматики СЭП при минимальных затратах времени [5].

Блок имитации нагрузок позволяет имитировать различные виды нагрузок: постоянную (активную) нагрузку; импульсную (или скачкообразную); комплексную (резистивно-емкостную); частотную с синусоидальной формой тока. При имитации постоянной нагрузки устройство преобразует энергию постоянного тока СЭП КА в энергию переменного тока с последующей передачей ее в питающую сеть. Комплексная нагрузка обеспечивает синхронное параллельное подключение постоянного активного сопротивления и последовательной RC-цепи к выходной шине СЭП КА. Гармоническая нагрузка создается путем формирования синусоидального тока в выходных шинах СЭП с плавно регулируемой амплитудой и частотой, что позволяет проверить нагрузочную способность в нескольких декадах, а также измерить выходной импеданс бортового источника питания. Импульсная нагрузка обеспечивает независимое увеличение (наброс) или уменьшение (сброс) постоянной нагрузки с регулируемой коммутационной длительностью подключения или отключения. Длительность фронта наброса или сброса тока нагрузки зависит от задания оператора, индуктивности подводящих проводов и величины тока наброса или сброса [6].

Имитатор переменной частоторегулируемой нагрузки используется для формирования: нагрузки постоянным током с плавным регулированием; нагрузки со ступенчатой регулировкой постоянного тока; частоторегулируемой импульсной нагрузки со ступенчатым регулированием амплитуды тока нагрузки и длительности фронтов; разовых импульсов тока нагрузки с регулируемой амплитудой и длительностью.

В режиме плавного регулирования нагрузки имитатор обеспечивает плавную регулировку безразрывного постоянного тока нагрузки. В режиме ступенчатой регулировки имитатор обеспечивает ступенчатую регулировку постоянного тока нагрузки. В данном режиме предусмотрена возможность плавного регулирования величины постоянного тока нагрузки путем автоматического перераспределения тока между регулируемой и ступенчатой нагрузкой с одновременным соответствующим изменением уставок. В режиме частотной нагрузки коммутацией активной нагрузки формируется импульсный ток, регулируемый по амплитуде и по частоте следования (при скважности два). Импульсная нагрузка имитатора обеспечивает формирование разовых импульсов тока активной нагрузки.

Силовая контрольно-поверочная аппаратура снабжена программными протоколами, фиксирующими действия оператора и органа управления верхнего уровня.

Системный коммутатор предназначен для подключения к объекту контроля измерительных приборов, анализаторов состояния контактов реле и датчиков, осциллографов, формирователей команд, источников питания. Коммутатор осуществляет подключение измерительных приборов, входящих в состав устройства измерения, и модулей, входящих в состав контрольно-испытательной станции, на любую из 1200 точек подключения к объекту контроля с помощью реле.

Устройство измерения обеспечивает поддержку связи со встроенными приборами по интерфейсу RS-232, а также передачу и прием информации из ПК в части управления приборами. В его составе осциллограф TPS-2014 (Tektronix, Inc. [7]), мультиметры HP34401A (Agilent Technologies [8]), источники питания PSS-3203, PSP-603 (GW Instek [9]). Интерфейс пользователя АПК дополнен специально русифицированной программной оболочкой.

Контрольно-испытательная станция используется для контроля состояния контактов реле и электронных коммутаторов (транзисторных ключей); контроля временных и амплитудных параметров импульсов напряжения; формирования команд управления в виде импульсов напряжения или незапитанным контактом; формирования автономных команд управления при непосредственном доступе оператора к включению и отключению объекта контроля; имитации резистивных датчиков и сопротивлений; измерения сопротивлений, прямых падений напряжений на диодах и контроля токов утечки диодов при обратном напряжении.

Устройство мониторинга позволяет автоматически и синхронно измерять и регистрировать: параметры фаз трехфазной сети переменного тока; постоянное напряжение (10 каналов); сопротивление (3 канала); сопротивление изоляции (3 канала). Задание параметров уставок контроля, вывод

результатов мониторинга на печать, контроль состояния питающей сети позволяют осуществить быструю диагностику аварийных и нештатных состояний.

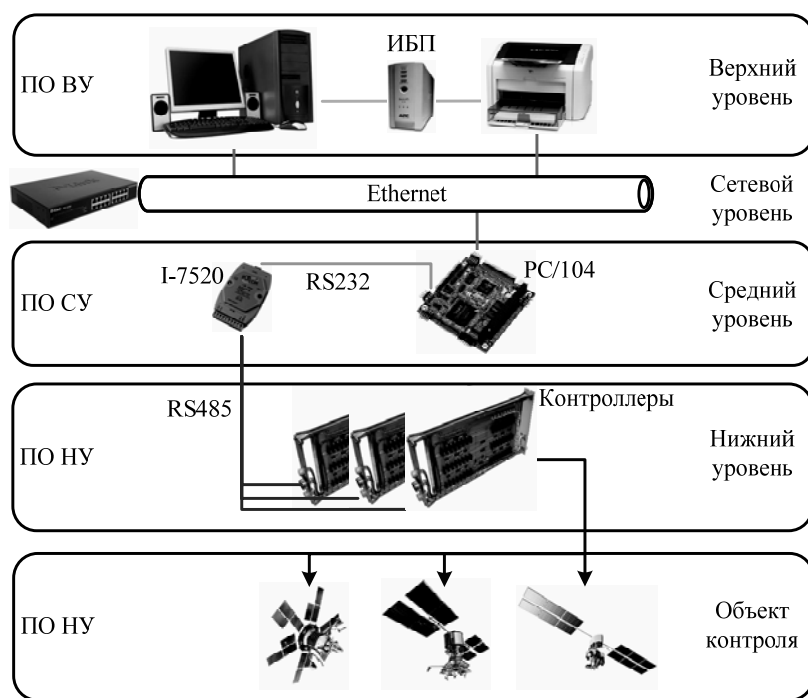
Все перечисленные устройства образуют сложную автоматизированную систему для функционального контроля энергопреобразующей аппаратуры, для которой наиболее оптимальным выбором, с точки зрения управляемости и надежности, является многоуровневость структуры.

АПК является системой, в модели которой имеются следующие уровни управления: интерфейс удаленного ввода/вывода данных для оператора; возможность управления комплексом в автоматическом режиме; автономная система управления и работы.

Программное обеспечение комплекса разделяется на уровни, показанные на рис. 3. Каждый уровень имеет свои функции и интерфейсы, что повышает надежность и исключает критические ошибки программного обеспечения верхнего уровня.

На верхнем уровне расположены: персональный компьютер оператора, источник бесперебойного питания, принтер. На ПК системы располагаются вся архивная информация и протоколы, отображается состав рабочего места оператора, и оператор ведет технологический процесс, имея всю нужную информацию на экране монитора.

На среднем уровне расположены: плата промышленного компьютера PC104 (MSM 800), преобразователь интерфейса (RS232-RS485). Программное обеспечение этого уровня работает под управлением операционной системы Linux [10], поддерживает протоколы обмена по интерфейсам RS-485 и Ethernet и обрабатывает информационные потоки между верхним и нижним уровнями. При обрыве связи с верхним уровнем имеется возможность закончить испытания в ручном режиме. На нижнем уровне контроллеры выполняют измерение параметров и управляют протеканием процесса. Обмен информацией происходит по протоколу Wake, от системы управления поступают команды (каждая команда квитируется), исполняемые контроллерами, а также запросы параметров.



ИБП – источник бесперебойного питания;  
КА – космический аппарат; ПО – программное обеспечение;  
ВУ, СУ, НУ – соответственно верхний, средний и уровень.

Рис. 3. Структурная схема программного обеспечения контрольно-испытательной станции АПК

Объект контроля соединен с выходами / входами нижнего уровня сигнальными и силовыми проводами.

Использование АПК позволяет с наименьшими затратами рабочего времени расширить область исследования и настройки блоков СЭП, а также произвести полный контроль СЭП КА, что имеет существенное значение для ракетно-космической техники.

Используя специализированное программное обеспечение АПК, оператор имеет возможность задавать программу исследования, по которой система будет работать в течение необходимого времени с непрерывным протоколированием результатов испытаний и постоянным контролем аварийных ситуаций.

#### Литература

1. Кудряшов В.С. Современное состояние и перспективы развития бортовых СЭП связанных ИСЗ / В.С. Кудряшов, В.В. Хартов // Электронные и электромеханические системы и устройства: сб. науч. трудов НПП «Полус». – Томск: МГП «РАСКО» при изд-ве «Радио и связь», 2001. – С. 17–27.

2. Отчеты о НИР в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по теме «Разработка и создание автоматизированной контрольно-испытательной аппаратуры на основе имитаторов солнечных и аккумуляторных батарей для испытаний бортовых систем электропитания и космических аппаратов в целом на всех стадиях отработки». Регистрац. № 0120105567.

3. Патент на полезную модель 90589 РФ, МПК G05B23/02. Автоматизированный комплекс наземного контроля и испытаний систем электроснабжения космических аппаратов / В.Н. Мишин, Г.А. Ракитин, В.А. Пчельников, Ю.А. Кремзуков, С.К. Миргородский, В.М. Рулевский, М.Н. Цветков, В.Л. Иванов. – №2008136495/22; заявл. 10.09.08; опубл. 10.01.10. Бюл. № 1. – 3 с.

4. Патент на полезную модель 97007 РФ, МПК Н 01 М 14/00. Устройство для имитации секционированной солнечной батареи с общей шиной / В.Н. Мишин, В.А. Пчельников, Ю.А. Кремзуков, А.В. Михайлов, С.К. Миргородский, И.А. Иконописцев. – №2010106452/22; заявл. 24.02.10; опубл. 20.08.10. Бюл. № 23. – 3 с.

5. Патент на полезную модель 73102 РФ, МПК G 06 G 7/63. Имитатор аккумуляторной батареи для испытания систем электроснабжения космических аппаратов / В.Н. Мишин, О.В. Бубнов, В.А. Пчельников, А.Г. Юденцев, В.В. Леонов, Н.Н. Цебенко, С.А. Кайсанов. – №2008100435/22; заявл. 09.01.08; опубл. 10.05.08. Бюл. № 13. – 2 с.

6. Патент на полезную модель 75755 РФ, МПК G 01 R 31/02, G 01 R 31/40. Имитатор нагрузок для испытания систем электроснабжения космических аппаратов / В.Н. Мишин, О.В. Бубнов, В.А. Пчельников, А.Г. Юдинцев, В.Л. Иванов, О.В. Патрахина. – №200810935/22; заявл. 11.03.08; опубл. 20.08.08. Бюл. № 23. – 2 с.

7. Оборудование для тестирования, измерений и контроля компании Tektronix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tek.com/ru/>, свободный (дата обращения: 22.09.2010).

8. Оборудование для тестирования, измерений и контроля компании Agilent Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agilent.ru/>, свободный (дата обращения: 22.09.2010).

9. Оборудование для тестирования, измерений и контроля компании GW Instek [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gwinstek.com/>, свободный (дата обращения: 22.09.2010).

10. Русская информация об операционной системе Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.linux.org.ru/>, свободный (дата обращения: 25.09.2010).

---

#### **Шурыгин Юрий Алексеевич**

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. компьютерных систем в управлении и проектировании,  
ректор ТУСУРа  
Тел.: 8 (382-2) 51-05-30  
Эл. почта: [office@tusur.ru](mailto:office@tusur.ru)

#### **Мишин Вадим Николаевич**

Канд. техн. наук, зав. 14-м отд. НИИ автоматики и электромеханики (АЭМ) ТУСУРа  
Тел.: 8 (382-2) 56-00-59  
Эл. почта: [mishin@niiuem.tomsk.ru](mailto:mishin@niiuem.tomsk.ru)

#### **Кремзуков Юрий Александрович**

Науч. сотрудник 14-го отд. НИИ АЭМ ТУСУРа  
Тел.: 8 (382-2) 56-00-59  
Эл. почта: [kremzucov@niiuem.tomsk.ru](mailto:kremzucov@niiuem.tomsk.ru)

Shurygin Y.A., Mishin V.N., Kremzucov Y.A.

#### **Hardware-software system automate the prelaunch testing of spacecraft power supply systems**

We propose a hardware-software system automate the prelaunch testing of spacecraft power supply systems using solar simulators, battery and load devices, as well as through the process of testing of spacecraft in close to the performance.

**Keywords:** hardware-software system, the system energy of the spacecraft.