

УДК 621.31

Ю.А. Кремзуков, В.М. Рулевский, Ю.А. Шиняков, М.Н. Цветков

Автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры систем электропитания космических аппаратов

Предложена автоматизированная система контроля, исследований и испытаний энергопреобразующей аппаратуры систем электропитания космических аппаратов с использованием имитаторов солнечных и аккумуляторных батарей. Использование системы позволяет расширить область исследований и настройки систем электропитания, сократить время испытаний и повысить надежность космического аппарата.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля, система электропитания, космический аппарат, имитатор солнечной батареи, имитатор аккумуляторной батареи.

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 электропитания (СЭП) [1, 2]. Достижение этих целей требует решения сложных задач проектирования и отработки энергопреобразующей аппаратуры 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, 4].

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 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 [5, 6].

При проведении испытаний и отработке бортовых систем и космических аппаратов в целом все блоки имитации и энергопреобразующая аппаратура 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 настоящее время известен ряд устройств для автоматизированного контроля радиоэлектронной аппаратуры. Одним из вариантов данных устройств является система контроля, представленная на рис. 1 [7]. Недостатком представленной системы является невозможность полного функционального контроля, исследования и испытания систем электроснабжения космических аппаратов из-за невозможности воспроизведения статических и динамических характеристик солнечных батарей и аккумуляторных батарей при

заряде и разряде. Кроме того, недостатком системы является отсутствие возможности имитации различных видов нагрузок: постоянной, импульсной (или скачкообразной), комплексной (резистивно-емкостной), частотной с синусоидальной формой тока и т.д. Третьей группой недостатков являются ограниченная функциональная гибкость системы и невозможность оператору влиять на ход проведения контроля и испытаний.

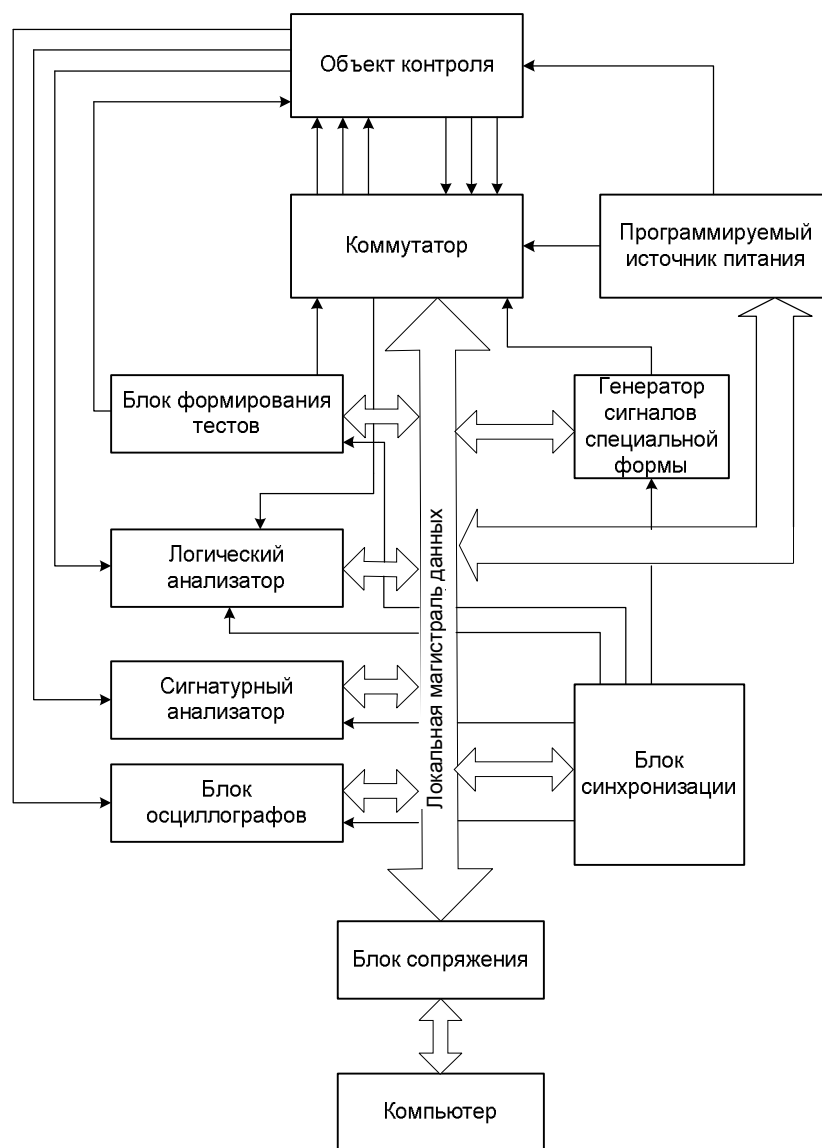


Рис. 1. Автоматизированный комплекс контроля и диагностики

На рис. 2 представлена структура энергетических связей наземного испытательного комплекса, отражающая реальное взаимодействие компонентов СЭП. Питание электрической энергией имитаторов солнечной и аккумуляторной батарей (ИБС, БИАБ) осуществляется от промышленной трехфазной сети переменного тока. При этом имитация канала разряда БИАБ и основного канала блока имитации нагрузок (БИН) осуществляется передачей энергии в питающую трехфазную цепь посредством ведомого инвертора.

Такое построение позволяет значительно экономить электроэнергию, которая не рассеивается в окружающее пространство посредством радиаторов пассивных компонентов (испытания мощных СЭП 6.5÷10 кВт могут проходить несколько суток).

На рис. 3 представлена структурная схема комплекса автоматизированной системы контроля энергопреобразующей аппаратуры СЭП КА [4], соответствующая реальному взаимодействию компонентов СЭП космических аппаратов, которая позволяет расширить функциональные возможности за счет добавления имитаторов солнечных, аккумуляторных батарей и нагрузочных устройств, и тем самым обеспечить полный контроль аппаратуры СЭП.

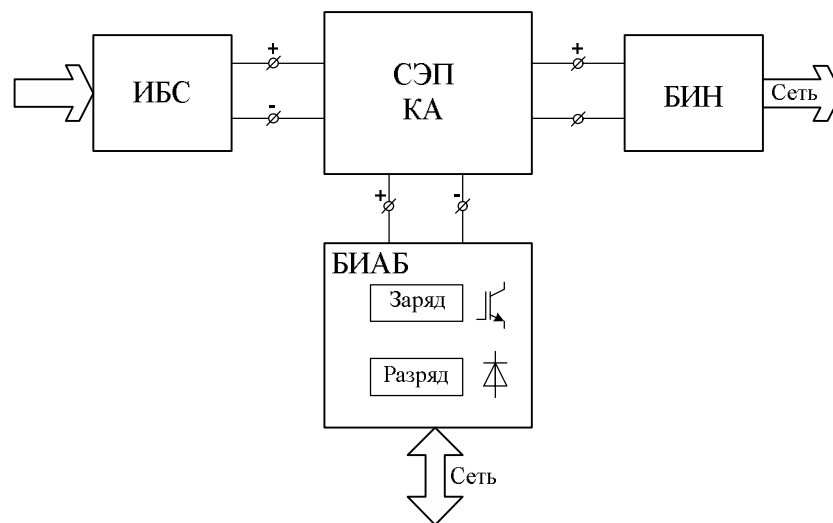


Рис. 2. Структура энергетических связей испытательного комплекса

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

На рис. 3 представлена структурная схема комплекса автоматизированной системы контроля энергопреобразующей аппаратуры СЭП КА [4], соответствующая реальному взаимодействию компонентов СЭП космических аппаратов, которая позволяет расширить функциональные возможности за счет добавления имитаторов солнечных, аккумуляторных батарей и нагрузочных устройств и тем самым обеспечить полный контроль аппаратуры СЭП.

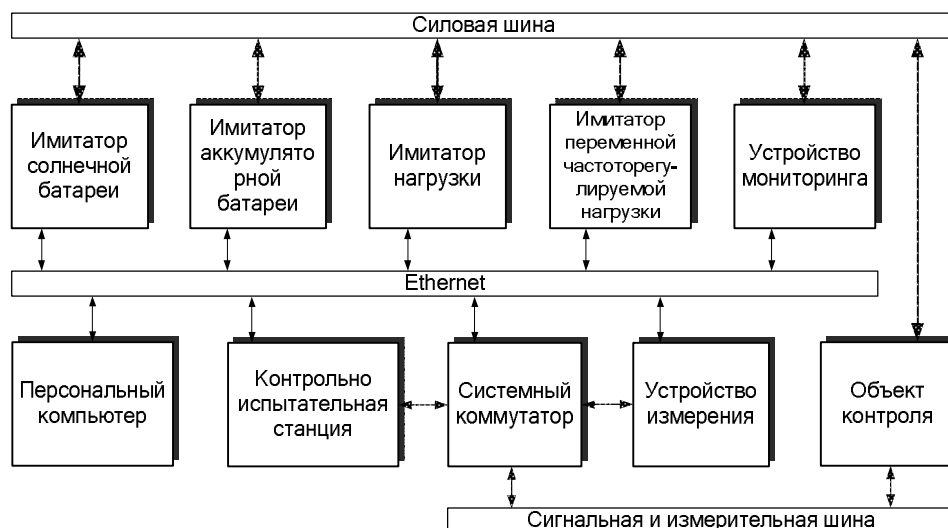


Рис. 3. Автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры

Автоматизированная система контроля (АСК) представляет собой гибкую и надежную систему. АСК выполнена в виде отдельных законченных устройств, каждое из которых может работать как отдельно (используя встроенный промышленный контроллер), так и

в составе АСК под управлением персонального компьютера, который обеспечивает реализацию рабочих режимов и алгоритмов функционирования системы путем обмена управляющей и измерительной информацией по Ethernet-интерфейсу. АСК осуществляет самоконтроль основных электрических параметров, диагностику параметров питающей сети и исключает аварийные ситуации при несанкционированном пропадании напряжения питающей сети.

АСК 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.

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 и электрообогревателей. Имитатор обеспечивает полноту электрических проверок автоматики СЭП при минимальных затратах времени.

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 устройством 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 [8].

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; 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.

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. [9]), мультиметры HP34401A (Agilent Technologies [10]), источники питания PSS-3203, PSP-603 (GW Instek [11]).

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.

АСК является многоуровневой 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. 4. Каждый уровень имеет свои функции и интерфейсы, что повышает надежность и исключает критические ошибки программного обеспечения верхнего уровня.

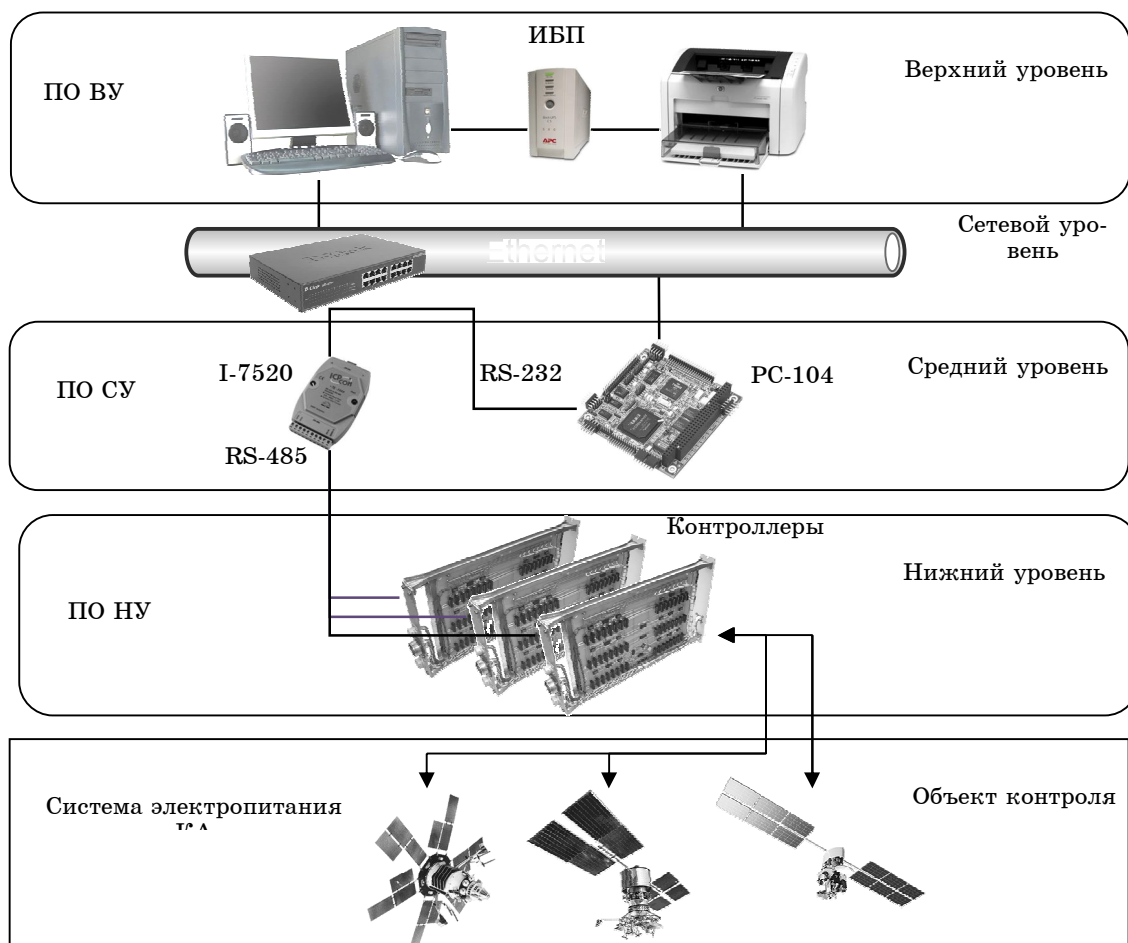


Рис. 4. Структурная схема программного обеспечения контрольно-испытательной станции АСК ЭПА: ВУ – верхний уровень; ИБП – источник бесперебойного питания; КА – космический аппарат; НУ – нижний уровень; ПО – программное обеспечение; СУ – средний уровень

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 ведёт 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 [12], поддерживает протоколы обмена по интерфейсам RS-485 и Ethernet и обрабатывает информационные потоки между верхним и нижним уровнями.

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.

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

Использование АСК 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 АСК, 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.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2).

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 издательстве «Радио и связь», 2001. – С. 17–27.
2. Анализ технических требований к системам электропитания автоматических космических аппаратов / А.В. Чечин, В.И. Пушкин, А.С. Гуртов, А.Н. Филатов // Электронные и электромеханические системы и устройства: сб. науч. трудов НПП «Полус». – Томск: МГП «РАСКО» при издательстве «Радио и связь», 2001. – С. 59–66.
3. Казанцев Ю.М. Автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры СЭП КА / Ю.М. Казанцев, Ю.А. Кремзуков // Известия Томского политехнического университета. Энергетика. – 2009. – Т. 314, № 4. – С. 138–141.
4. Патент 90589 РФ, МПК G05B23/02. Автоматизированный комплекс наземного контроля и испытаний систем электроснабжения космических аппаратов / В.Н. Мишин, Г.А. Ракитин, В.А. Пчельников и др. // Бюл. – 2010. – № 1. – 3 с.
5. Патент 73102 РФ, МПК G06G7/63. Имитатор аккумуляторной батареи для испытания систем электроснабжения космических аппаратов / В.Н. Мишин, О.В. Бубнов, В.А. Пчельников и др. // Бюл. – 2008. № 13. – 2 с.
6. Патент 97007 РФ, МПК H01M14/00. Устройство для имитации секционированной солнечной батареи с общей шиной / В.Н. Мишин, В.А. Пчельников, Ю.А. Кремзуков и др. // Бюл. – 2010. № 23. – 3 с.
7. Патент 2257604 РФ, МПК G05B23/02, H04B17/00. Автоматизированный комплекс контроля и диагностики / Е.П. Палькеев, А.Ф. Страхов, В.Ф. Шевченко. – № 2003111456/09; заявл. 2003.04.22; опубл. 2005.07.27.
8. Патент 75755 РФ, МПК G01R31/02, G01R31/40. Имитатор нагрузок для испытания систем электроснабжения космических аппаратов / В.Н. Мишин, О.В. Бубнов, В.А. Пчельников и др. // Бюл. – 2008. № 23. – 2 с.
9. Оборудование для тестирования, измерений и контроля компании Tektronix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tek.com/ru/>, свободный (дата обращения: 22.09.10).
10. Оборудование для тестирования, измерений и контроля компании Agilent Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agilent.ru/>, свободный (дата обращения: 22.09.10).
11. Оборудование для тестирования, измерений и контроля компании GW Instek [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gwinstek.com/>, свободный (дата обращения: 22.09.10).

12. Русская информация об операционной системе Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.linux.org.ru/>, свободный (дата обращения: 25.09.10).

Кремзуков Юрий Александрович

Науч. сотрудник НИИ АЭМ ТУСУРа

Тел.: +7 (382-2) 56-00-59

Эл. почта: kremzukov@niiuem.tomsk.ru

Рулевский Виктор Михайлович

Канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник НИИ АЭМ ТУСУРа

Тел.: +7 (382-2) 56-00-59

Эл. почта: rulevsky@mail.ru

Шиняков Юрий Александрович

Д-р техн. наук, зам. начальника научного управления ТУСУРа

Тел.: +7 (382-2) 70-15-84

Эл. почта: shua@main.tusur.ru

Цветков Максим Николаевич

Программист НИИ АЭМ ТУСУРа

Тел.: +7 (923-4) 11-93-77

Эл. почта: maxim@niiuem.tomsk.ru

Kremzukov Yu.A., Rulevskiy V.M., Shinyakov Yu.A., Tsvetkov M.N.

Automated control system of power-conditioning equipment for spacecraft's power systems

The automated system for control, research and testing of power-conditioning equipment for spacecraft's power systems using solar and accumulator batteries simulators is proposed. The system using allows to expand the research area and tuning of power supply systems, to reduce test time and increase reliability of the spacecraft.

Keywords: automated control system, power system, spacecraft, solar battery simulator, accumulator battery simulator.
