

ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2010 Ю. А. Шиняков¹, А. С. Гуртов², К. Г. Гордеев³, С. В. Ивков²

¹Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

²ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

³Научно-производственный центр «Полус»

Рассмотрена методология анализа и выбора оптимальной структуры системы электроснабжения низкоорбитальных автоматических космических аппаратов. Обоснована целесообразность использования на объектах с изменяющимися условиями эксплуатации и резко-переменными графиками нагрузки универсальной параллельно-последовательной структуры системы, обеспечивающей возможность экстремального регулирования мощности солнечных батарей и лучшие энергетические показатели. Предложены проектные рекомендации по структурно-функциональному блочно-модульному построению системы повышенной мощности на основе параллельного соединения энергетических подсистем.

Космический аппарат, система электроснабжения, солнечные батареи, аккумуляторные батареи, аппаратура регулирования и контроля.

Одной из важнейших бортовых систем автоматических космических аппаратов (КА) является система электроснабжения (СЭС), которая представляет собой совокупность первичных и вторичных источников тока, аппаратуры преобразования энергии и стабилизации выходного напряжения с необходимой автоматикой контроля и управления. В качестве первичных источников энергии наибольшее применение находят солнечные батареи (СБ), а в качестве накопителей энергии для питания бортовых потребителей энергии на теневых участках орбиты и при пиковых нагрузках обычно используются аккумуляторные батареи (АБ).

Аппаратура регулирования и контроля (АРК), включающая в свой состав как требуемый набор энергопреобразующих устройств, так и необходимые устройства контроля параметров СЭС, согласовывает работу СБ, АБ и нагрузки. При изменении освещённости СБ и деградации характеристик СБ и АБ она обеспечивает заданное качество выходного напряжения в установившихся и переходных режимах, реализацию оптимальных алгоритмов управления режимами заряда-разряда АБ и оптимальное использование СБ.

В качестве первичного источника при проектировании долгоресурсных КА, как правило, выбираются СБ на основе кремниевых или арсенид-галлиевых фотоэлементов, а в качестве накопителей энергии – аккумуляторные батареи (никель-водородные, никель-кадмиевые, никель-металлогидридные, литий-ионные).

Несомненно, что совершенствование СЭС прежде всего зависит от улучшения характеристик непосредственно бортовых источников энергии (СБ, АБ), составляющих 70-80 % её массы. Однако даже при самых совершенных источниках СЭС в целом может обладать неудовлетворительными характеристиками из-за нерационального использования их возможностей. Для низкоорбитальных автоматических КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из-за специфики выполняемых ими задач накладываются дополнительные требования к СЭС: резко-переменная циклограмма нагрузки, большое количество циклов заряда и разряда АБ, длительная работа при отсутствии освещённости панелей СБ в тени Земли и при работе аппаратуры наблюдения, обеспечение автономного полета КА. Это обуславливает необходимость определения оптимального ва-

рианта построения СЭС и заставляет разработчиков искать оригинальные технические решения, позволяющие повышать эффективность генерирования и преобразования энергии, надёжность и ресурс СЭС, а также уменьшать её массу.

Все возможные варианты построения СЭС автоматических КА длительного функционирования основываются на трёх базовых структурах: параллельной, параллельно-последовательной и последовательной [1]. Увеличение количества альтернативных анализируемых вариантов СЭС вызвано необходимостью учитывать реализацию режима экстремального регулирования мощности (ЭРМ) СБ, тип и количество АБ, изменение каких-либо функциональных связей; соотношение принятых значений напряжений СБ, нагрузки и диапазона изменения рабочего напряжения на АБ. Все эти изменения ведут к изменению коэффициентов полезного действия силовых преобразующих устройств, энергетической эффективности использования первичного источника и накопителя энергии, и следовательно, к изменению их массы и массы СЭС [2].

Аналитические выражения энергобаланса [1] не позволяют учесть все особенности работы СЭС по реальной циклограмме: гистерезис управления включением и отключением ЗУ, условия токоограничения силовых преобразующих устройств и т.д. Кроме того, циклограмма энергопотребления и график освещённости панелей СБ может корректироваться в процессе проектирования КА, что требует оперативного анализа необходимости коррекции установленных мощностей всех составных частей СЭС.

Процесс проектирования СЭС автоматических КА начинается с детального анализа требований, заложенных в технических заданиях, и заключается в поэтапном решении следующих задач:

- формирование циклограммы энергопотребления;
- выбор типа первичного источника (СБ) и накопителя энергии (АБ);
- определение альтернативных вариантов структур СЭС;

- расчёт энергобаланса альтернативных вариантов СЭС по графикам изменения мощностей СБ и нагрузки;

- определение энергетических и массовых характеристик составных частей СЭС на основе полученных потоков энергии;

- сопоставительный анализ и выбор наиболее предпочтительного варианта;

- параметрическая оптимизация и проектирование составных частей СЭС.

Представленная этапность работ определена и сформирована ходом развития и совершенствования энергосистем автоматических КА и согласуется с концепцией многоуровневого подхода к процессу проектирования автономных систем.

Циклограмма энергопотребления составляется на основе анализа возможных функциональных состояний бортовых потребителей энергии суммированием мощности одновременно работающих на данном этапе потребителей и представляет собой зависимость мощности суммарной нагрузки КА от времени. Циклограмма освещённости панелей СБ определяется из длительности теневых участков орбиты КА и изменения пространственного положения КА относительно Солнца на освещённых участках орбиты при работе аппаратуры наблюдения и программных поворотах КА, относительного положения панелей СБ.

Наиболее достоверные результаты расчёта энергобаланса, энергетических и массогабаритных характеристик альтернативных вариантов СЭС достигаются при оперировании с текущими значениями мощностей СБ и нагрузки с использованием математических программных моделей, которые позволяют точно определить потоки энергии через преобразующие устройства системы.

На рис. 1 приведена разработанная общая структурная схема программы автоматизированного расчёта возможных вариантов построения СЭС, в том числе с реализацией режима экстремального регулятора мощности (ЭРМ) СБ [3].

При детерминированном графике нагрузки наиболее сложный в энергетическом отношении период функционирования СЭС

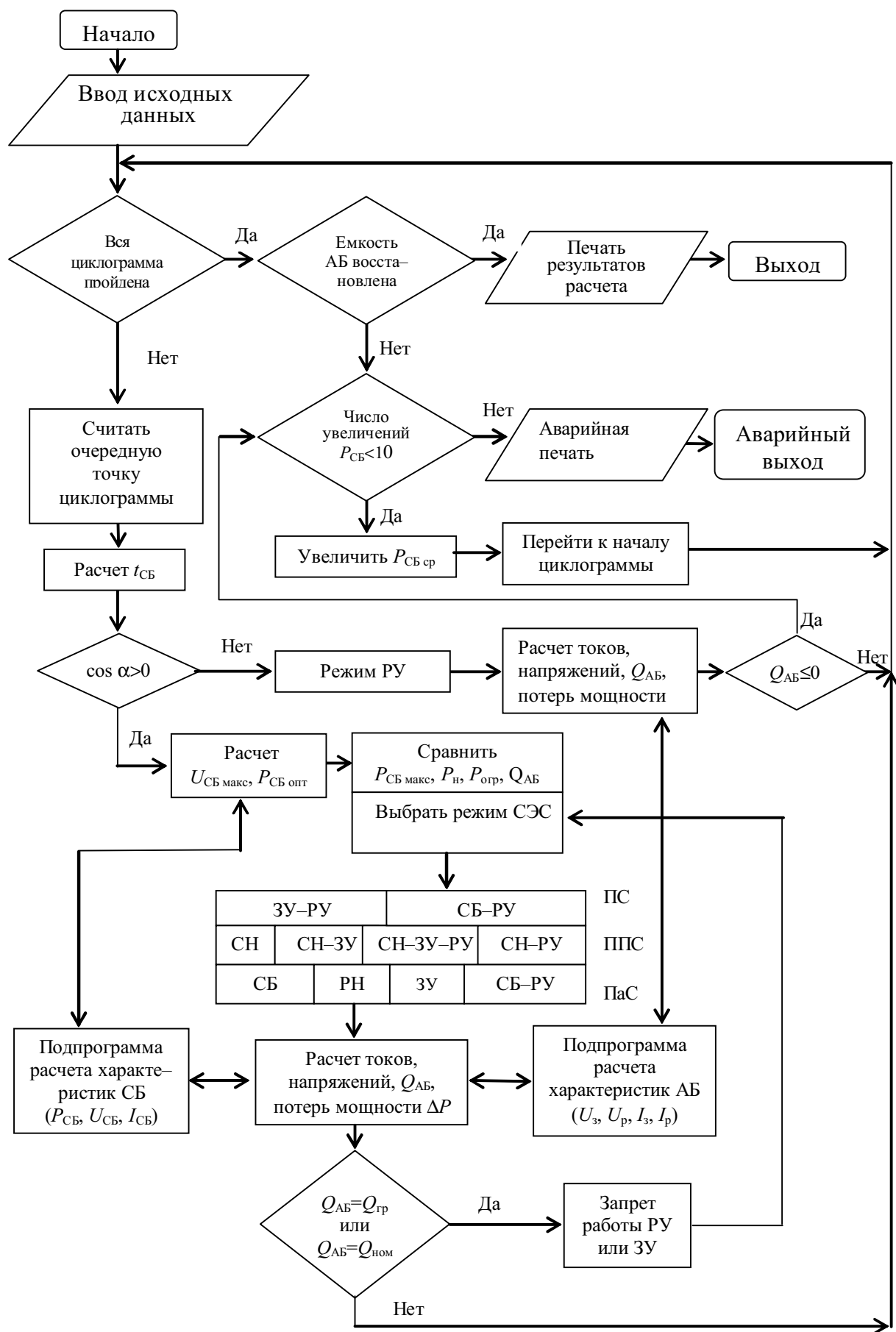


Рис. 1. Общая структурная схема расчёта энергетических и массогабаритных характеристик СЭС

наступает в конце срока существования объекта при деградации СБ до определённого допустимого уровня. Для этого периода, как правило, и проводится расчёт СЭС.

Основная задача расчёта сравниваемых вариантов построения СЭС состоит в определении установленных мощностей СБ и энергопреобразующих устройств, установленной энергии или ёмкости АБ ($W_{уст\ АБ}$ или $Q_{АБ}$), а следовательно, и массы всех составных частей при условии обеспечения энергетического баланса на расчётном периоде функционирования СЭС. Условием энергобаланса является равенство нулю разрядной ёмкости АБ в конце расчётного периода. Энергия АБ, расходуемая при превышении мощности нагрузки над мощностью СБ, в конце расчётного периода должна быть полностью восстановлена.

На каждом участке рассчитывается температура и мощность СБ, определяется режим работы СЭС в зависимости от соотношения мощности, отбираемой от СБ, и мощности потребления нагрузки. Для каждого режима рассчитываются соответствующие напряжения и токи источников энергии и силовых преобразующих устройств, степень заряженности АБ, потери мощности во всех устройствах СЭС.

Расчёт ведётся с использованием математической модели АБ, представленной в виде зависимостей: $U_{АБз} = f(Q, I_з, T)$, $U_{АБр} = f(Q, I_p, T)$, где $U_{АБз(р)}$ – напряжение АБ при заряде (разряде); Q – степень заряженности АБ; $I_{з(р)}$ – ток заряда (разряда); T – температура АБ.

По рассмотренной методике осуществляется расчет энергобаланса всех альтернативных вариантов построения СЭС. Найденное значение $P_{СБ}$ используется при расчёте массы и площади СБ:

$$M_{СБ} = P_{СБ} M_{СБ\ уд} / K_{дег\ СБ} P_{СБ\ уд},$$

где $K_{дег\ СБ}$ – коэффициент деградации СБ, показывающий снижение мощности за время эксплуатации КА; $P_{СБ\ уд}$ – удельное значение мощности СБ при стандартных условиях, Вт/м²; $M_{СБ\ уд}$ – удельная масса СБ, кг/м². Площадь СБ находится из выражения

$$S_{СБ} = P_{СБ} / P_{СБ\ уд} K_{дег\ СБ}.$$

Определяются расчётная энергия АБ, установленные мощности регулятора (РН), зарядного устройства (ЗУ), разрядного устройства (РУ) и их массы. Расчётное (необходимое) значение энергии, которое должно быть запасено в АБ определяется выражением

$$W_{АБ\ р} = Q_{р\ макс} U_{АБ\ р} = \\ = \max \sum_{i=1}^n \left[\eta_{АБ} \eta_{ЗУ} \int_0^{\Delta t_{ЗУ}} (P_n / \eta_{РН} - P_{СБ}) dt + 1 / \eta_{РУ} \int_0^{\Delta t_{РУ}} (P_n - P_{СБ} \eta_{РН}) dt \right],$$

где $Q_{р\ макс}$ – максимальная разрядная ёмкость АБ; $U_{АБ\ р}$ – среднее разрядное напряжение АБ; $\eta_{РН}, \eta_{ЗУ}, \eta_{РУ}, \eta_{АБ}$ – КПД силовых устройств АРК и коэффициент отдачи АБ.

Масса АБ определяется из выражения $M_{АБ} = W_{АБ\ р} K_{дег\ АБ} M_{уд\ э\ АБ}$, где $K_{дег\ АБ}$ – коэффициент деградации АБ, показывающий снижение за время эксплуатации ёмкости АБ; $M_{уд\ э\ АБ}$ – удельная (по энергии) масса АБ.

Масса силовых устройств регулирующей аппаратуры (РН, ЗУ, РУ) определяется с помощью рассчитанных установленных значений мощностей через удельные показатели

$$M_{РА} = \sum_{i=1}^n (P_{уст\ i} M_{уд\ i}).$$

Суммарная масса СЭС определяется по выражению

$$M_{СЭС} = M_{СБ} + M_{АБ} + M_{РА} + M_{БА} + M_{ПК} + M_{стр},$$

где $M_{БА}$ – масса блока автоматики (дистанционные переключатели и слаботочные реле, устройства телеметрии и оперативного контроля и т.д.). $M_{БА}$ и $M_{ПК}$ принимаются, как правило, одинаковыми для всех сравниваемых вариантов. $M_{стр}$ определяется через полученные суммарные значения тепловыделения во всех устройствах СЭС:

$$M'_{стр} = \max \sum_{i=1}^k (\Delta P_i) M_{уд\ стр},$$

где ΔP_i – потери мощности в устройствах СЭС; $M_{уд\ стр}$ – удельная масса системы терморегулирования (СТР).

Рассчитанные суммарные массы всех альтернативных вариантов СЭС сравниваются, и предпочтение отдается структуре с наименьшим значением $M_{\text{СЭС}}$. В случае близких значений суммарных масс сравниваемых вариантов СЭС решающую роль в определении предпочтительности конкретного варианта могут сыграть другие критерии оптимальности, наиболее важные для выполнения целевой задачи автоматического КА (надёжность, автономность функционирования СЭС, срок разработки и изготовления лётных образцов, стоимость и т.д.) [3].

Рассмотренная методология расчета неоднократно использовалась специалистами ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» для выбора оптимальной структуры СЭС при разработке эскизных проектов на автоматические КА различного назначения [4, 5].

В таблице 1 представлены результаты расчёта пяти вариантов построения СЭС низкоорбитального автоматического КА типа ДЗЗ «Ресурс-ДК1».

Из анализа результатов следует, что наименьшую массу имеет СЭС параллельно-последовательной структуры (ППС) с ЭРМ СБ. Площадь СБ меньше площади СБ других вариантов построения СЭС на 2...5 м², что говорит о целесообразности использования на низкоорбитальных объектах струк-

туры ППС и высокой эффективности режима ЭРМ СБ. Параллельная структура (ПаС) неэффективна ввиду большой требуемой мощности РН и значительной его массы. Использование последовательной структуры (ПС) на таких объектах нерационально из-за низкого коэффициента передачи энергии от СБ в нагрузку (через два преобразующих устройства ЗУ и РУ) и значительной мощности ЗУ, рассчитанного на полную мощность СБ.

Энергетические и массовые характеристики всех составных частей, определённые в процессе расчёта энергобаланса выбранного рационального варианта СЭС, являются интегральными параметрами проектируемой системы. Следующим этапом проектирования является уточнение централизованной структуры СЭС и параметрическая оптимизация её составных частей. При этом учитывается целый ряд специфических требований, предъявляемых к конкретному КА, обусловленных его функциональным назначением, конструктивным исполнением, условиями терморегулирования и т.д. Уточняется требуемое количество АБ и секций СБ, конфигурация АРК.

Формируемые технические задания на проектирование каждой составной части СЭС взаимосвязаны, так как изменение в

Таблица 1

Параметр	Результаты расчета для различных типов структуры СЭС				
	ППС-ЭРМ	ППС	ПаС	ПС-ЭРМ	ПС
$P_{\text{СБ}}$, Вт	5670	6140	6127	5940	6300
$S_{\text{СБ}}$, м ²	42	45,5	45,4	44	46,7
$\Delta W_{\text{АБ}}$	0,67	0,67	0,67	0,73	0,76
$\Delta W_{\text{ЗРУ}}$	0,673	0,673	0,673	1,0	1,0
$I_{\text{РУ макс}}$, А	55	55	55	55	55
$I_{\text{ЗУ макс}}$, А	30	28,7	28,7	56,4	36,18
$I_{\text{СН(РН) макс}}$, А	65	65	177,06	-	-
ΔP , Вт	282,5	282,5	281	302	296
$m_{\text{СБ}}$, кг	88,2	95,5	95,3	92,4	98
$m_{\text{АБ}}$, кг	216	216	216	216	216
$m_{\text{ЗРУ}}$, кг	44,3	44,13	44,13	60,4	65,86
$m_{\text{РН}}$, кг	7,28	7,28	20,16	-	-
$m_{\text{СЭС}}$, кг	356	363,6	375,8	368,9	380

конфигурации построения каждой из них ведёт к изменению технических требований, предъявляемых к другим составным частям. Например, «разбиение» СБ на ряд секций или формирование накопителя энергии из нескольких АБ предопределяет технические требования к АРК в части регулирования потоков энергии и контроля параметров всех источников энергии. Возможны и обратные взаимные технические требования. Например, выбор параллельной структуры СЭС заставляет разработчиков «тщательно» проектировать СБ на заданный номинал напряжения в конце срока функционирования КА. При выборе параллельно-последовательной структуры этого не требуется, так как возможность реализации режима ЭРМ СБ формирует только одно требование – напряжение СБ в оптимальной рабочей точке в конце срока активного существования КА не должно быть менее некоторого заданного значения.

Таким образом, задача «детализации» выбранной базовой структуры СЭС заключается в оптимизации параметров СБ, АБ, определении рационального количества АБ и секций СБ, уточнении структурной схемы АРК.

Основополагающим принципом построения СЭС является блочно-модульный, который служит средством реализации современных тенденций развития и совершенствования бортовых систем и заключается в параллельном соединении однотипных преобразующих модулей или функциональных подсистем, содержащих аккумуляторную батарею (АБ), зарядно-разрядное устройство (ЗРУ) и устройства преобразования и контроля параметров АБ (УПП) [6].

Структурная схема СЭС с энергетическими подсистемами на основе АБ (рис. 2) широко используется в настоящее время при проектировании СЭС мощностью 1,5-5,0 кВт.

В качестве первичного источника используется солнечная батарея (СБ), обеспечивающая питание бортовых потребителей через устройство стабилизации напряжения и автоматики (СНА). Блок выходных шин (БВШ) обеспечивает распределение электроэнергии между бортовыми потребителями, контроль выходных параметров и формирование дистанционных обратных связей для силовых энергопреобразующих устройств. С помощью устройств контроля и автоматики (УКА) реализуется адаптивное управление

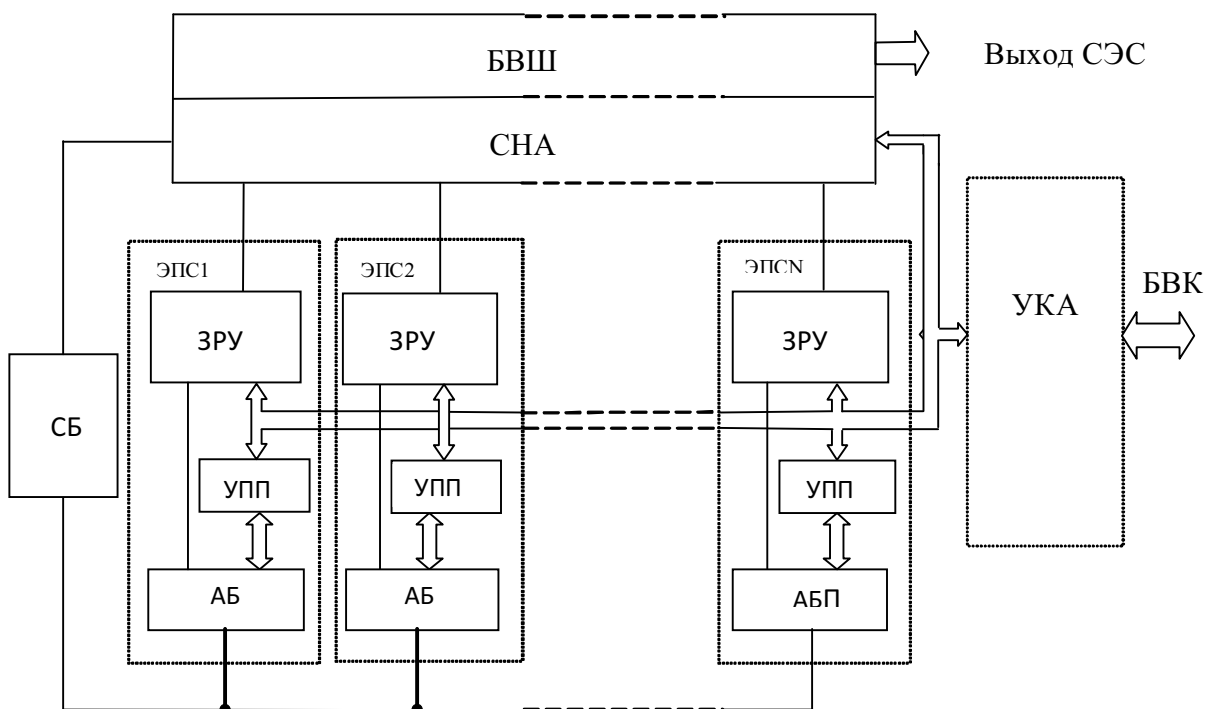


Рис. 2. Структурная схема СЭС с энергетическими подсистемами на основе АБ

СЭС, контроль всех её элементов и связь с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

При больших мощностях СЭС трудно выполнять требования по идентичным условиям эксплуатации всех секций СБ. Это оказывает существенное влияние на ресурс СБ (из-за деградации характеристик), уровень генерирования мощности и положение оптимальной точки на вольтамперной характеристике СБ (точки, в которой СБ вырабатывает максимальную в данных условиях мощность). В этом случае целесообразно выполнять СБ в виде нескольких независимых секций и осуществлять экстремальное регулирование каждой секции, что позволяет оптимально использовать имеющуюся площадь СБ и её конструктивные запасы. В этом случае СБ разделяется на независимые секции (генераторы), которые наряду с АБ, ЗРУ, УПП и СНА включаются в состав подсистемы СЭС [6, 7].

В такой системе реализуется независимое индивидуальное регулирование напряжения секций СБ каждой ЭПС в точке экстремума мощности.

Для повышения живучести СЭС, как правило, предусматриваются перекрёстные связи между ЭПС, позволяющие использовать исправные элементы отказавшей подсистемы, например АБ, подключая их к работающим ЭПС.

Алгоритмы контроля, анализа состояния и управления режимами эксплуатации реализуются устройствами контроля и автоматики. В задачи УКА входят: контроль состояния всех элементов СЭС, анализ и обработка информации, выявление нештатных ситуаций, формирование соответствующих управляющих воздействий, управление и контроль за исполнением алгоритмов профилактических работ с АБ, обмен с БВК, приём команд управления. УКА могут быть интегрированы в конструктивы СНА, ЗРУ, БВШ или выполнены отдельно.

Рассмотренная методика анализа и выбора оптимальной структуры СЭС, включа-

ющая расчёт энергобаланса альтернативных базовых вариантов построения СЭС по текущим значениям мощностей СБ и нагрузки, определение энергетических и габаритно-массовых характеристик составных частей СЭС на основе рассчитанных потоков энергии, сопоставительный анализ и выбор наиболее предпочтительного базового варианта построения СЭС с последующей параметрической оптимизацией и проектированием составных частей СЭС по конкретным техническим заданиям, использовалась при проектировании и создании СЭС автоматического КА ДЭЗ Земли «Ресурс-ДК1» [4]. Его успешная лётная эксплуатация с 15 июня 2006 года подтверждает правильность разработанных методик, технических решений и практических рекомендаций.

На рис. 3 и 4 приведены графики изменения мощностей в СЭС КА типа «Ресурс-ДК1» при выключенном и включённом экстремальном регулировании мощности СБ, полученные по результатам обработки телеметрической информации. Поведение параметров показывает высокую эффективность применения ЭРМ СБ на низкоорбитальном КА за счёт эффективного использования мощности СБ (примерно на 25%).

Из рисунков 3-5 следует, что ЭРМ существенно увеличивает снимаемую мощность с СБ в начале и конце освещённой части витка. Это приводит к более эффективному восполнению ёмкости АБ (рис. 5), не требует проведения дополнительных переключений панелей СБ (экономит ресурс приводов СБ), увеличивает время работы аппаратуры наблюдения, уменьшает глубину разряда АБ при максимальном времени теневого участка орбиты, а также позволяет уменьшить требуемую мощность и площадь СБ.

Реальное подтверждение методики анализа и выбора оптимальной структуры СЭС на основе рассчитанных потоков энергии при эксплуатации КА типа «Ресурс-ДК1» позволило применить данную методику также при проектировании СЭС малого КА ДЗЗ, разрабатываемого ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» [5].

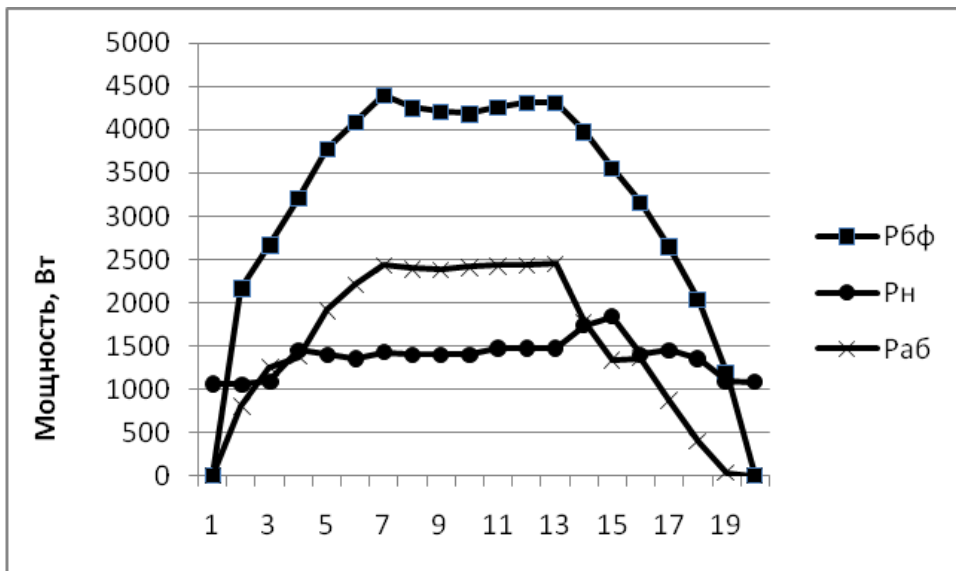


Рис. 3. График изменения мощностей в СЭС при выключенном ЭРМ СБ

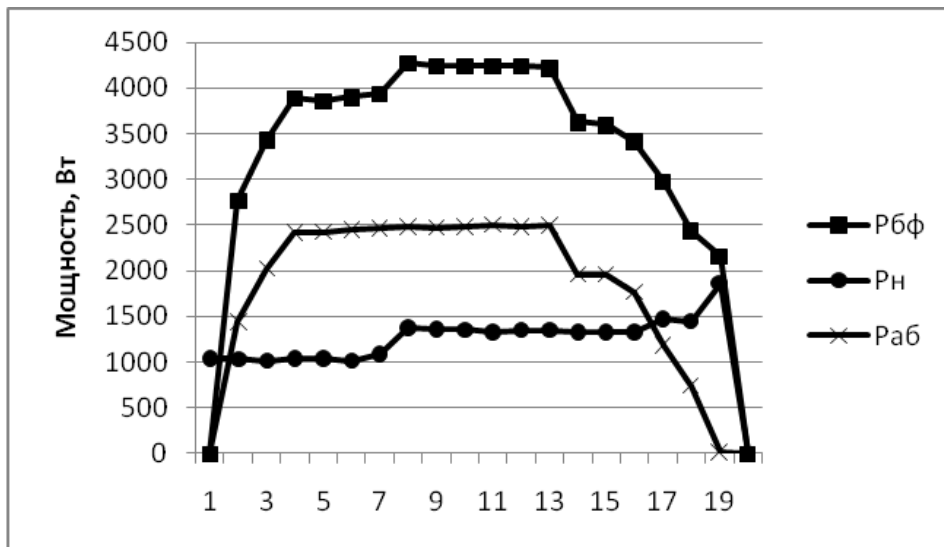


Рис. 4. График изменения мощностей в СЭС при включенном ЭРМ СБ

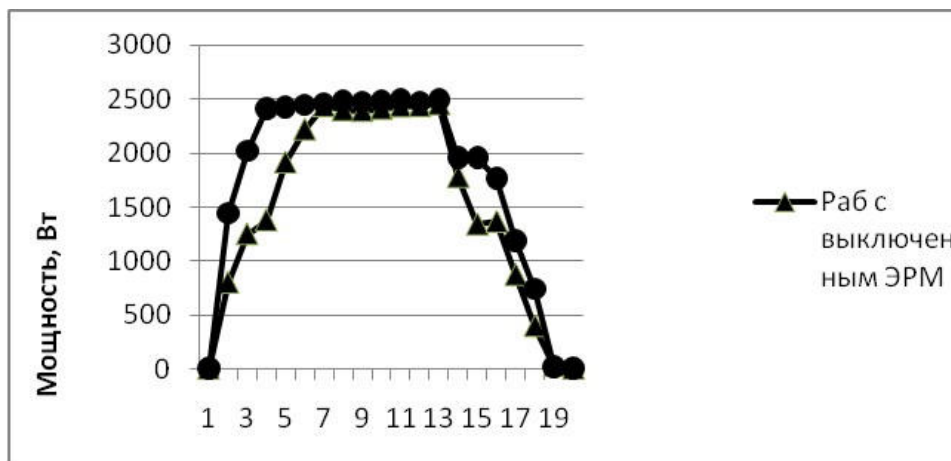


Рис. 5. График изменения мощностей СЭС, идущих на заряд АБ при выключенном и включенном ЭРМ СБ

Библиографический список

1. Шиняков Ю. А. Энергетический анализ структурных схем систем электроснабжения автоматических космических аппаратов // Известия Томского политехнического университета. – 2006. - Т. 309. - № 8. - С. 152-155.
2. Гуртов А.С., Пушкин В.И., Филатов А.Н., Чечин А.В. Анализ технических требований к системам электропитания автоматических космических аппаратов // Электронные и электромеханические устройства: Сборник научных трудов НППЦ “Полюс” Томск, 2001. – С. 59-66.
3. Шиняков Ю.А., Гордеев К.Г., Поданева Ю.В. Сравнительный анализ структурных схем СЭП автоматических КА // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. трудов/ НППЦ “Полюс” Томск, 1997. - С. 14-22.
4. Чечин А.В., Гуртов А.С. и др. Эскизный проект КА «Ресурс-ДК1// Бортовой энергетический комплекс Ресурс-ДК 0000-0 ПЗ-5. Пояснительная записка» / ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”, Самара, 1997.
5. Пушкин В. И., Гуртов А. С. и др. Эскизный проект МКА ДЗЗ// Бортовой энергетический комплекс МКА ДЗЗ 81КС 0000-0 ПЗ-204. Пояснительная записка» / ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”, Самара, 2008.
6. Построение мощных многомодульных автономных систем электропитания / Чернышев А.И., Шиняков Ю.А., Чечин А.В., Гордеев К.Г., Пушкин В.И., Филатов А.Н. // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. трудов / НППЦ “Полюс” - Томск, 1997. - С. 3-8.
7. Пат. 2035109 РФ, МКИ⁶ Н 02 J 7/35. Автономная система электроснабжения/ Чернышев А.И., Шиняков Ю.А., Гордеев К.Г., Ларюхин Б.В., Былина С.М., Орлова О.М., Черданцев С.П. // Изобретения. - 1995. - №13.

References

1. Shinyakov, Yu. A. Energy-dispersive structural analysis of unmanned space vehicle power-supply systems // Izvestia of Tomsk Polytechnic University. – 2006. – Vol. 309. – No. 8. 152-155 pp.
2. Gurtov, A. S., Pushkin V. I., Filatov A. N., Chechin A. V. Analysis of unmanned space vehicle power-supply system specifications // Electronic and electromechanical devices: Collection of papers of Science-and-Production Centre “Polyus” - Tomsk, 2001. – 59-66 pp.
3. Shinyakov, Yu. A., Gordeev K. G., Podaneva Yu. V. Comparative structural analysis of unmanned space vehicle power-supply systems // Electronic and electromechanical systems and devices: collection of papers / Science-and-Production Centre “Polyus” – Tomsk, 1997. – 14 – 22 pp.
4. Chechin, A. V., Gurtov A. S., et al. Resource-DK1 draft design // 0000-0 ПЗ-5 Resource-DK1 airborne power generation system. Explanatory note / SRP SC “TsSKB-Progress”, Samara, 1997.
5. Pushkin, V. I., Gurtov A. S., et al. Small Earth remote sensing satellite draft design // 81КС 0000-0 ПЗ-204 Small ERS satellite onboard power-producing system. Explanatory note / SRP SC “TsSKB-Progress”, Samara, 2008.
6. Chernyshev, A. I., Shinyakov Yu. A., Chechin A. V., Gordeev K. G., Pushkin V. I., Filatov A. N. Construction of high-capacity multimodule autonomous power-supply systems // Electronic and electromechanical systems and devices: collection of papers / Science-and-Production Centre “Polyus” – Tomsk, 1997. – 3-8 pp.
7. Pat. 2035109 of the Russian Federation, МКИ⁶ Н 02 J 7/35. Autonomous power-supply system / Chernyshev A. I., Shinyakov Yu. A., Gordeev K. G., Laryukhin B. V., Bylina S. M., Orlova O. M., Cherdantsev S. P. // Izobreteniya. 1995. No.13.

CHOOSING THE STRUCTURE OF POWER-SUPPLY SYSTEMS FOR LOW-ORBIT SPACE VEHICLES

© 2010 Yu. A. Shinyakov¹, A. S. Gurtov², K. G. Gordeyev³, S. V. Ivkov²

¹Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

²State Research and Production Space Rocket Center “TsSKB – Progress”

³Research and Production Centre “Polyus”

A methodology for analyzing and choosing the optimum structure of power-supply systems (PSS) for low-orbit automatic spacecraft (SC) is considered. The expediency of using a universal parallel-serial structure which provides a possibility of extreme power regulation of solar batteries, at objects with varying operation conditions and sharply-variable load curves is justified. Design guidelines for structurally functional block-modular construction of a system with increased power capacity are proposed on the basis of parallel connection of energy subsystems.

Storage battery, spacecraft, solar battery, power supply system.

Информация об авторах

Шиняков Юрий Александрович, кандидат технических наук, заместитель руководителя НИЧ, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Область научных интересов: разработка и исследование аппаратуры регулирования и контроля автономных систем электроснабжения, использующих в качестве первичных источников энергии – солнечные батареи, а в качестве накопителей энергии – аккумуляторные батареи. E-mail: Shua@main.tusur.ru.

Гуртов Александр Сергеевич, начальник отдела ФГУП ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”. Область научных интересов: разработка и исследование автономных систем электроснабжения, использующих в качестве первичных источников энергии – солнечные батареи, а в качестве накопителей энергии – аккумуляторные батареи. E-mail: gas1501@mail.ru.

Гордеев Константин Георгиевич, кандидат технических наук, заместитель главного конструктора, ОАО “НПЦ “Полус” г. Томск. Область научных интересов: Разработка и исследование аппаратуры регулирования и контроля автономных систем электроснабжения, использующих в качестве первичных источников энергии – солнечные батареи, а в качестве накопителей энергии – аккумуляторные батареи. E-mail: polus@online.tomsk.ru.

Ивков Сергей Валериевич, инженер конструктор ФГУП ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”. Область научных интересов: Разработка и исследование автономных систем электроснабжения, использующих в качестве первичных источников энергии – солнечные батареи, а в качестве накопителей энергии – аккумуляторные батареи. E-mail: sergeyivkov@virtualsooccer.ru.

Shinyakov Yury Alexandrovitch, candidate of technical science, deputy head of Research Department, Tomsk State University of control systems and radioelectronics, shua@main.tusur.ru. Area of research: design and analysis of control equipment for autonomous power supply systems using solar batteries as primary sources of energy and storage batteries as energy storage units.

Gurtov Alexander Sergeevitch, head of department, State Research and Production Space Rocket Center “TsSKB – Progress”, gas1501@mail.ru. Area of research: design and analysis of control equipment for autonomous power supply systems using solar batteries as primary sources of energy and storage batteries as energy storage units.

Gordeyev Konstantin Georgievitch, candidate of technical science, deputy chief designer, Research and Production Centre “Polyus”, polus@online.tomsk.ru. Area of research: design and

analysis of control equipment for autonomous power supply systems using solar batteries as primary sources of energy and storage batteries as energy storage units.

Ivkov Sergey Valeryevitch, design engineer, State Research and Production Space Rocket Center “TsSKB – Progress”, sergeyivkov@virtualsoccer.ru. Area of research: design and analysis of control equipment for autonomous power supply systems using solar batteries as primary sources of energy and storage batteries as energy storage units.