

УДК 621.73.064.5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.В. Быков

Томский политехнический университет
ОАО «НПЦ “Полюс”», г. Томск
E-mail: vasilij_bykov@mail.ru

Быков Василий Владимирович, аспирант кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ; начальник конструкторского бюро ОАО «НПЦ “Полюс”», г. Томск. E-mail: vasilij_bykov@mail.ru
Область научных интересов: космическое приборостроение.

Одна из важнейших задач при проектировании аппаратуры космических аппаратов – обеспечение допустимых тепловых режимов эксплуатации электрорадиоизделий для гарантирования требуемых показателей надежности на весь срок активного существования. Особую актуальность данная задача приобрела в результате перехода от герметичных газонаполненных приборных

отсеков к негерметичным приборным отсекам, что повлекло исключение конвективного теплоотвода от аппаратуры. В работе на примере конкретного класса аппаратуры (энергопреобразующей) показано, что для обеспечения тепловых режимов требуется комплексный подход, учитывающий как температурные поля внутри приборов, так и распределение тепловых потоков по посадочной поверхности приборов и размещение системы терморегулирования космического аппарата (тепловых труб и/или контуров жидкостного охлаждения). Проведение теплового анализа в расчетном модуле Simulation 3D-CAPP SolidWorks с учётом циклограммы работы аппаратуры при эксплуатации позволило решить данную задачу и выбрать оптимальный способ теплоотведения совместно с разработчиками системы терморегулирования космического аппарата.

Ключевые слова:

Космический аппарат, энергопреобразующая аппаратура, терморегулирование, распределение тепловых потоков.

В настоящее время в ОАО «НПЦ “Полюс”» ведется разработка нового поколения энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) увеличенной мощности для систем электропитания космических аппаратов (СЭП КА) [1]. Необходимость данной работы обусловлена в первую очередь увеличением количества целевой аппаратуры и ее мощности на современных КА навигации и связи.

СЭП относится к системам жизнеобеспечения, без которых невозможно функционирование КА, и, как следствие, определяет срок активного существования последних. При этом ее масса составляет около 20–30 % от массы КА, а значит, задача повышения удельно-массовых характеристик каждого из компонентов СЭП (рис. 1) является одной из приоритетных в области космического приборостроения.

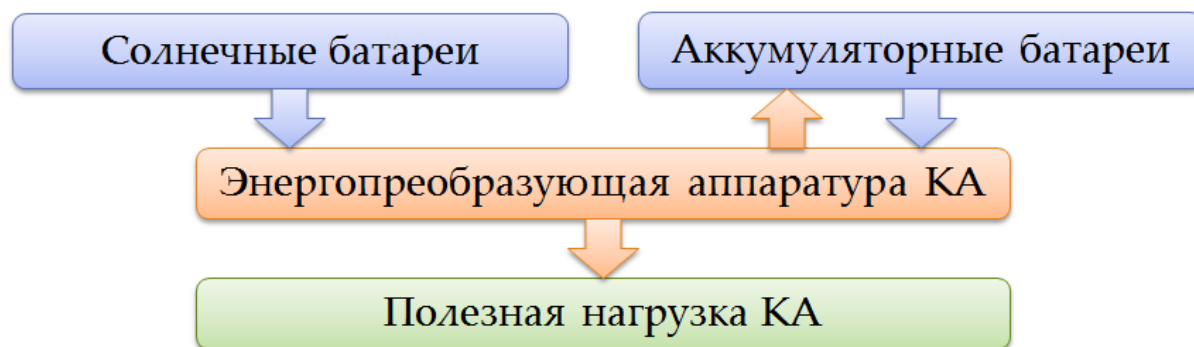


Рис. 1. Типовая структура системы электропитания КА

На рис. 1 стрелками указаны направления передачи электроэнергии между компонентами СЭП. При нахождении КА на солнечной части орбиты энергия, вырабатываемая солнечными батареями, поступает в ЭПА, где преобразуется в электропитание с заданными качественными характеристиками для обеспечения функционирования полезной нагрузки КА и заряда аккумуляторных батарей. После ухода КА на теневую часть орбиты питание полезной нагрузки происходит за счет их разряда.

Составляющие компоненты СЭП КА в последние годы претерпели следующие существенные изменения:

- аккумуляторные батареи, основанные на никель-водородной химической системе, заменяются батареями литий-ионной химической системы;
- происходит переход от солнечных батарей на кремниевых фотопреобразователях к батареям на многокаскадных арсенид-галлиевых фотопреобразователях;
- используется полезная нагрузка с более высоким номиналом напряжения питания (100 В вместо 27 В).

В результате внедрение ЭПА следующего поколения, реализованной на базе новой схемотехники – резонансных мостовых конверторах вместо классических ключевых преобразователей, послужит необходимым шагом для завершения полного обновления аппаратуры СЭП КА.

Одна из важнейших задач при разработке любой радиоэлектронной аппаратуры космического назначения – обеспечение тепловых режимов работы электрорадиоизделий. Особенно актуальна данная задача для аппаратуры большой мощности, к которой в первую очередь относится ЭПА КА. Определение ее тепловых режимов должно проводиться с учетом закладываемых техническим заданием перепадов температуры окружающей среды и доступных способов теплоотвода. При этом переход от разработки КА с герметичным газонаполненным приборным отсеком к негерметичным приборным отсекам, с одной стороны, позволил существенно снизить массу платформы КА, а с другой – исключил возможность конвективного теплоотвода от аппаратуры. Поэтому основная часть тепла, выделяемого в аппаратуре современных КА, отводится кондуктивным путем через основания приборов на несущие сотопанели.

Терморегулирование на КА осуществляется при помощи тепловых труб или жидкостных контуров охлаждения, вмонтированных в несущие сотопанели (рис. 2), при этом в технические задания на проектирование аппаратуры включают требования по максимальным предельным значениям тепловых потоков от посадочной поверхности приборов, так как превышение этих значений может привести к выходу из строя системы терморегулирования.

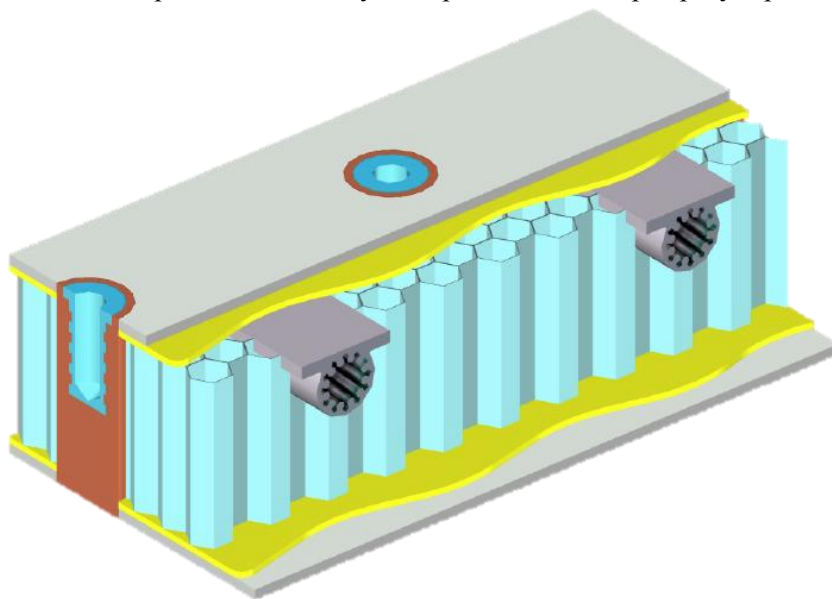


Рис. 2. Тепловые трубы и втулки для крепления аппаратуры, вмонтированные в несущую сотопанель КА

Оптимальные тепловые режимы прибора в большинстве случаев достигаются путем равномерного и максимально близкого к посадочной поверхности размещения тепловыделяющих элементов. Пример реализации силового модуля прибора показан на рис. 3. В случае необходимости установки тепловыделяющих элементов вдали от термостатируемой поверхности или при возникновении локальных перегревов задача отведения тепла существенно усложняется и может быть решена путем увеличения сечения несущих металлических оснований (что приводит к росту массы прибора) либо внедрения в несущие основания собственных систем терморегулирования, например гипертеплопроводящих структур [2], что значительно усложняет конструкцию и увеличивает массу и стоимость аппаратуры.



Рис. 2. Силовой модуль ЭПА КА

Определить тепловые поля внутри прибора и тепловые потоки на посадочной поверхности позволяет тепловой анализ, проведение которого необходимо уже на стадиях эскизного и технического проектирования для уточнения требований технического задания и выдачи исходных данных проектировщикам систем терморегулирования КА. В ОАО «НПЦ “Полюс”» внедрена комплексная САПР сквозного проектирования [3], в рамках которой в пакете SolidWorks на этапе компоновки создаются 3D-модели отдельных модулей (рис. 4) и прибора в целом. Затем на основе подготовленной модели в расчетном модуле Simulation, реализующем метод конечных элементов, проводится тепловой анализ разрабатываемой конструкции.

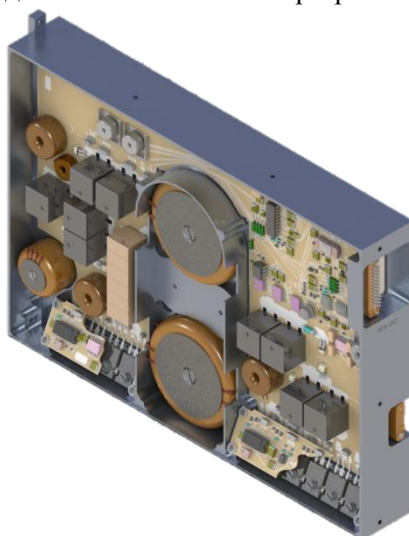


Рис. 4. Фотореалистичное 3D-представление силового модуля ЭПА КА в пакете SolidWorks (для расчетов используются упрощенные модели)

При задании мощностей тепловыделения и граничных условий для проведения расчетов важно учитывать циклограмму работы прибора и по возможности чередовать между собой модули прибора, работающие в разные периоды времени. Для ЭПА наиболее критичными по тепловыделению являются следующие режимы работы:

- режим разряда аккумуляторных батарей (КА находится на теневой орбите, максимальную мощность выделяют модули разрядных устройств);
- режим стабилизации напряжения солнечных батарей и заряда аккумуляторных батарей (КА на солнечной орбите, максимальную мощность выделяют модули стабилизации напряжения и зарядных устройств).

Соответственно, распределение тепловых потоков по посадочной поверхности должно оцениваться с учетом мощностей тепловыделения модулей для каждого из данных режимов работы в отдельности (рис. 5, 6).

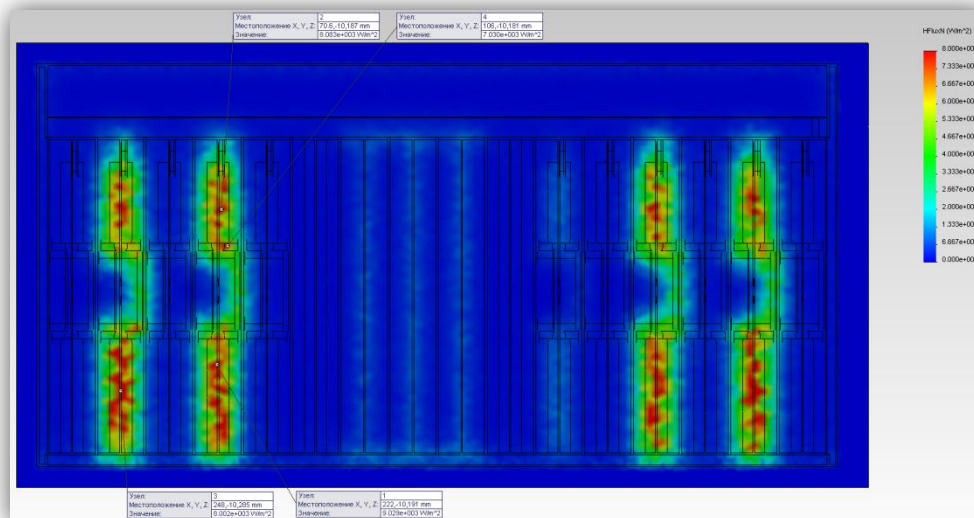


Рис. 5. Распределение теплового потока от ЭПА к термостатированному посадочному месту на соопанели КА в режиме разряда аккумуляторных батарей

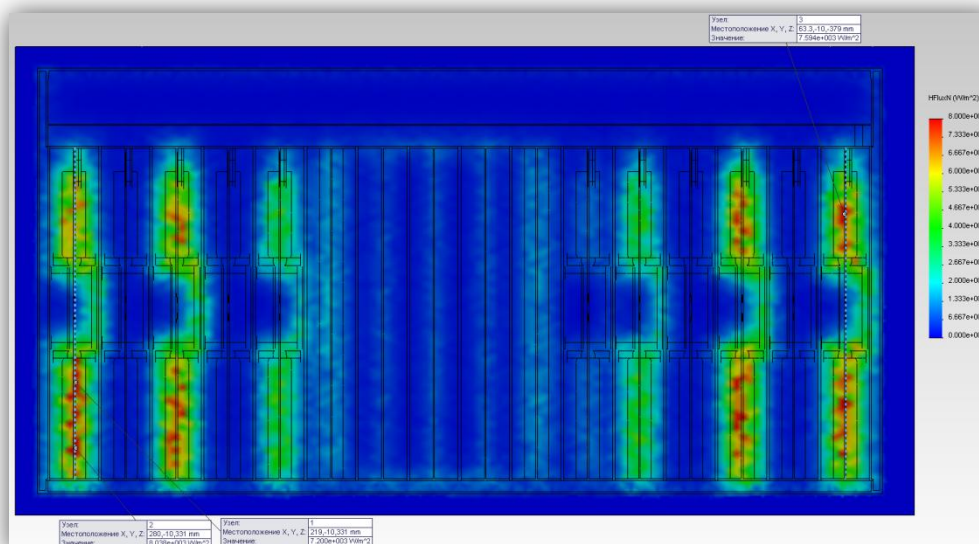


Рис. 6. Распределение теплового потока от ЭПА к термостатированному посадочному месту на соопанели КА в режиме стабилизации напряжения солнечных батарей и заряда аккумуляторных батарей

На основе полученной картины распределения тепловых потоков совместно с изготовителем платформы КА определяется способ теплоотвода, размещение тепловых труб, труб жидкостного контура охлаждения или их комбинации и согласовывается расположение точек крепления прибора (рис. 7).



Рис. 7. Размещение крепежных отверстий прибора и системы терморегулирования в месте установки прибора на панель КА

Проведение на этапе компоновки ЭПА теплового анализа с определением тепловых потоков от посадочной поверхности приборов позволяет согласовать с разработчиками системы терморегулирования КА оптимальный способ теплоотведения и избежать в дальнейшем проблем с общим или местным перегревом электрорадиоизделий, тем самым повышая надежность радиоэлектронной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие энергопреобразующей аппаратуры системы электропитания навигационных космических аппаратов / К.Г. Гордеев [и др.] // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека: тез. докл. 2-й Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 30-летию запуска на орбиту первого навигац. космич. аппарата «Глонасс» (10–14 октября 2012 г., Железногорск) / ОАО «Информационные спутниковые системы»; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012. – С. 145–147.
2. Пат. 2403692 Российская Федерация; МПК Н 05 К 1/00, Н 05 К7/20. Модуль радиоэлектронной аппаратуры с гипертеплопроводящим основанием / Сунцов С.Б., Косенко В.Е., Дервянко В.А.; патентообладатель ОАО «ИСС»; № 2009116488; заявл. 29.04.2009; опубл. 10.11.2010.
3. Алексеев В.П., Коблов Н.Н., Хрулев Г.М. Современные технологии автоматизации проектирования РЭА специального назначения. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – 134 с.

Поступила 03.07.2014 г.