

УДК 621.396.6.049.75 (075)

к.т.н., доцент Жаднов В. В., Жаднов И. В.,
д.т.н., профессор Сарафанов А. В.ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТАМосковский государственный институт электроники и математики
(технический университет), Красноярский государственный технический
университет

Одним из основных факторов, определяющим уровень надежности систем электропитания (СЭП) аппаратуры космического аппарата (КА), являются тепловые воздействия, поэтому актуальной является задача обеспечения тепловых характеристик СЭП на самых ранних стадиях жизненного цикла. Общий вид исследуемой конструкции СЭП приведен на рис. 1.

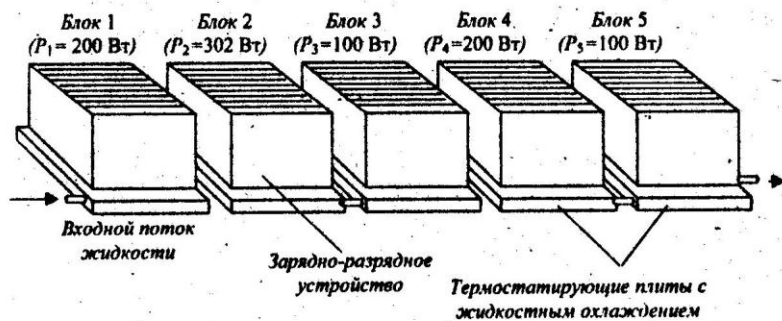


Рис. 1. Общий вид СЭП (исходный вариант размещения блоков на термостатирующих плитах)

Для проведения исследований использовались программные комплексы АСОНИКА-К [1] и ТРИАНА [2]. Предварительный анализ мощностей тепловыделений блоков СЭП показал, что наиболее теплонагруженным является блок 2 (блок зарядно-разрядного устройства - ЗРУ), эскиз которого приведен рис. 2. Исходя из мощностей тепловыделений электрорадиоизделий (ЭРИ) с помощью ПК АСОНИКА-К была получена температурная зависимость эксплуатационной интенсивности отказов блока ЗРУ (рис. 3), которая и стала критерием при обеспечении теплового режима.

Конечной целью исследования тепловых характеристик блока ЗРУ являлось получение рабочих температур его ЭРИ. В состав блока ЗРУ входит 10 функциональных ячеек (ФЯ), представляющие собой зарядные устройства

(ЗУ), разрядные устройства (РУ) и устройства автоматики (АВ), выполненные в виде печатных узлов (ПУ).

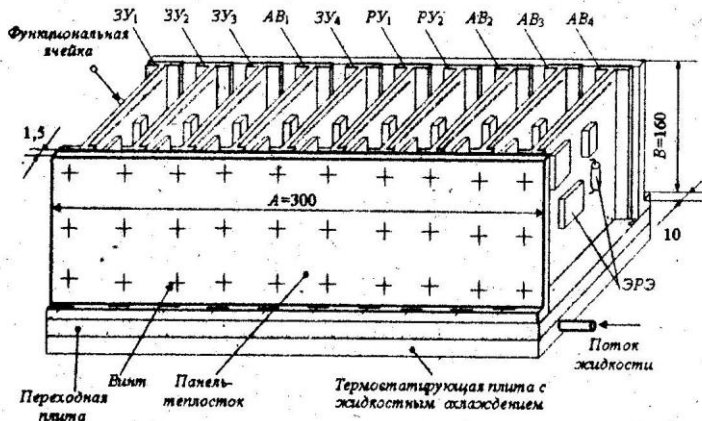


Рис. 2. Эскиз конструкции блока ЗРУ

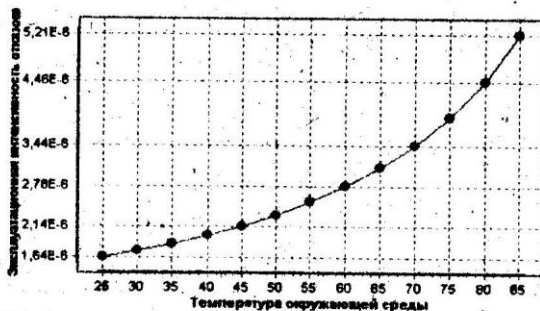


Рис. 3. Температурная зависимость эксплуатационной интенсивности отказов блока ЗРУ

Мощности тепловыделений ФЯ перечисленных выше устройств распределяются следующим образом: ЗУ₁, ..., ЗУ₄ - по 43 [Вт] каждая; РУ₁ и РУ₂ по 62 [Вт] каждая; АВ₁, ..., АВ₄ - по 1,5 Вт каждая.

Для исследования тепловых характеристик ЗРУ (рис. 1.) был предварительно построена модель тепловых процессов (МТП) конструкции СЭП. При этом были приняты следующие допущения: поверхности блока установленные на переходную и термостатирующую плиты, являющиеся изотермичными. Блоки моделируются узлами графа МТП с подключенными им источниками мощности тепловыделений (рис. 4). Поток жидкост

прокачиваемой через систему охлаждения, моделируется совокупностью изотермичных объемов, каждому из которых поставлена в соответствие температура: t_1 – температура на входе первой плиты, t_2 – температура на выходе первой плиты и входе второй, t_3 – температура на выходе второй плиты и входе третьей, t_4 – температура на выходе третьей плиты и входе четвертой, t_5 – температура на выходе четвертой плиты и входе пятой, t_6 – температура на выходе пятой плиты. Исходя из наилучшего случая, значение t_1 было принято равным 15 [°C].

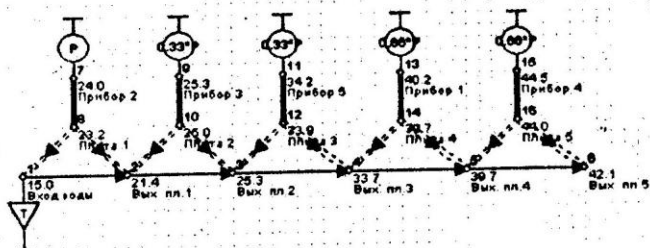


Рис. 4. Топологическая модель тепловых процессов СЭП

Для СЭП был проведен анализ различных вариантов размещения блоков на термостатирующих плитах, в результате которого было получено, что при размещении блоков в соответствии с рис. 4, интегральная температура снижается на 16 [°C], по сравнению с исходным размещением (рис. 1).

Для исследований тепловых характеристик ФЯ была построена МТП конструкции блока ЗРУ. В качестве граничных условий использовались интегральные температуры переходных плит и панелей-тепlostокков. В результате расчетов были получены интегральные температуры блока (рис. 5), которые определяют его интенсивность отказов (рис. 2). Кроме того, были получены температурные поля панелей-тепlostокков (с учетом неравномерности тепловыделения по высоте ФЯ), необходимые для задания граничных условий при исследовании тепловых характеристик ПУ.

Полученные в результате расчетов значения интегральных температур блока ЗРУ показали, что его эксплуатационная интенсивность отказов должна удовлетворить требованиям частного технического задания (ЧТЗ).

Для проведения «уточненного» расчета эксплуатационной интенсивности отказов блока ЗРУ был проведен расчет рабочих температур ЭРИ, входящих в состав ФЯ. Анализ результатов расчетов температур ЭРИ, входящих в состав ФЯ РУ показал, что рабочие температуры ряда элементов (AE7VT3, AE1VD9, AE27L12, AE36L12, AE8VT32, и т. п.) с большой мощностью тепловыделения составляют порядка 63,7...65,9 [°C], что превышает допустимую рабочую температуру (60 [°C]), при которой обеспечивается

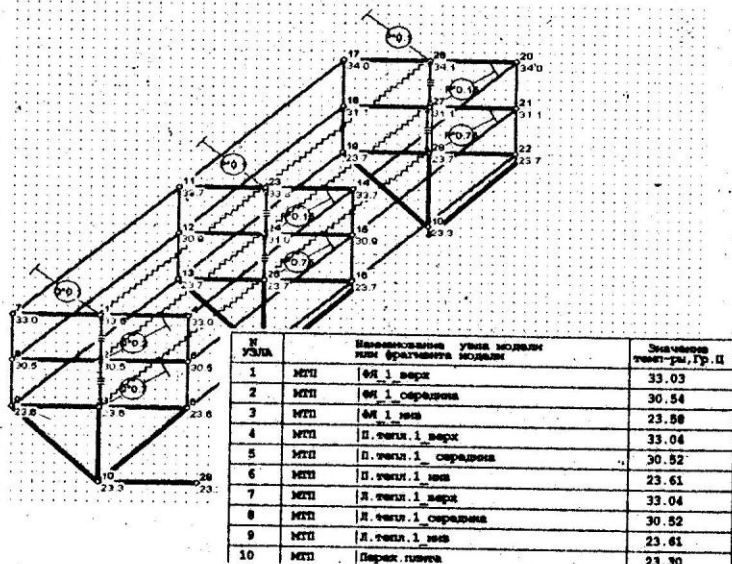


Рис. 5. Топологическая модель тепловых процессов блока ЗРУ

выполнение требований по надежности. Поэтому, была изменена конструкция ФЯ. В результате анализа различных вариантов было выявлено, что наиболее эффективным является увеличение площади сечения теплового потока путем дополнительной тепловой шину, которая крепится через вырез в МП непосредственно на основание ФЯ. В этом случае, как показал расчет (рис. 6) рабочие температуры вышеназванных элементов, снижаются до 51,1...54,6 [°C], что гарантирует обеспечение требований по надежности. Это подтвердил «уточненный» расчет эксплуатационной интенсивности отказов ФЯ разрядного устройства (рис. 7).

Приведенная выше методика позволила на ранних этапах проектирования СЭП КА обеспечить требуемый уровень надежности.

Литература

1. Жаднов, В. В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств. Серия «Библиотека инженера» / В. В. Жаднов, А. Е. Сарафанов. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 464 с.
2. Исследование тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования: Монография / В. В. Гольдин, В. Г. Журавский, В. И. Коваленко и др.; Под. ред. А. В. Сарафанова. М.: Радио и связь, 2003. 456 с.

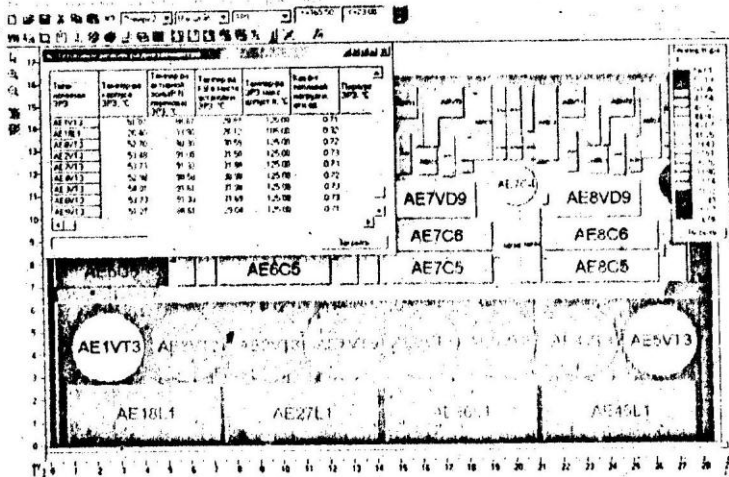


Рис. 6. Температурное поле печатного узла РУ

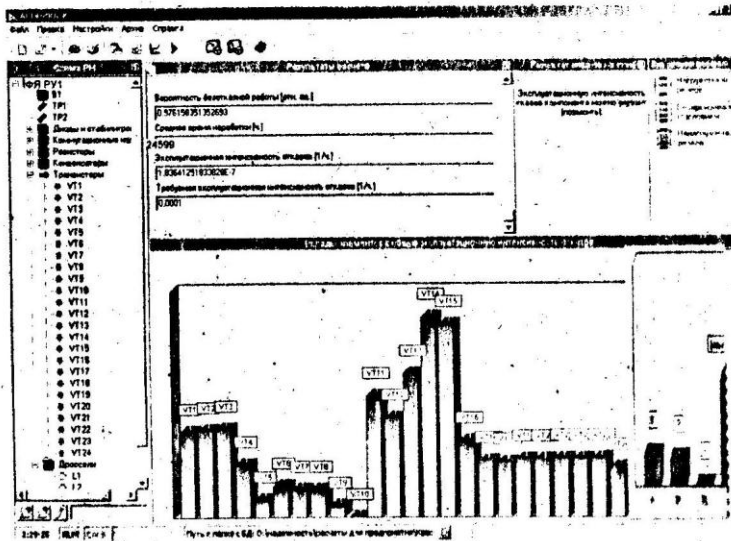


Рис. 7. Интенсивности отказов ЭРИ РУ