ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Д.А. Титов

Научно-исследовательский институт радио, Москва, Российская Федерация

Приведены результаты оптимального обеспечения стойкости бортовой аппаратуры систем спутниковой связи к повышенным уровням внешних воздействующих факторов. Рассмотрена структура инженерно-технической оптимизации. Предложен способ решения задачи оптимизации модели бортовой аппаратуры с целью снижения возможных затрат. Приведены критерии и алгоритм оптимизации модели бортовой аппаратуры.

Ключевые слова: алгоритм, оптимизация, бортовая аппаратура, спутниковая связь, инженерные анализы.

QUESTIONS OF ENGINEERING AND TECHNICAL OPTIMIZATION OF ONBOARD EQUIPMENT OF SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

D.A. Titov

Radio Research and Development Institute, Moscow, Russian Federation

The results of optimal ensuring the stability of on-board equipment of satellite communication systems to elevated levels of external factors are presented. The structure of engineering and technical optimization is considered. A method for solving the problem of optimizing the model of on-board equipment in order to reduce possible costs is proposed. Criteria and an optimization algorithm for the on-board equipment model are given.

Keywords: algorithm, optimization, onboard equipment, satellite communication, engineering analyses.

Введение

Бортовая аппаратура систем спутниковой связи (далее – БАССС) должна быть стойкой к повышенным уровням внешних воздействующих факторов. В силу назначения и специфики эксплуатации к БАССС предъявляются высокие требования к надёжности. Вероятность безотказной работы БАССС в течение срока активного существования (15 лет) должна быть не менее 0,98, что является непростой задачей, учитывая большое число входящих составляющих.

Перечисленные выше требования, предъявляемые к БАССС, а также специфика её работы определяет высокий уровень затрат на её создание и эксплуатацию. Многоплановая актуальная задача снижения этих затрат имеет множество решений. Одним из перспективных решений является инженерно-техническая оптимизация (далее по тексту ИТО) БАССС.

Структура ИТО БАССС

ИТО БАССС проводится на стадии разработки БАССС, и основным её инструментом является компьютерное моделирование всех составляющих структуры ИТО БАССС с целью нахождения наилучших решений. Структура ИТО БАССС приведена на рис. 1.

Системно-технологическая составляющая ИТО БАССС предполагает принятие оптимальных решений при выборе таких системных характеристик и требований, таких как:

- частотный план БАССС;
- состав БАССС (схема деления);
- оптимизированные входная и выходная характеристики БАССС;

Рис. 1. Структура ИТО БАССС

- спецификация внешних воздействующих факторов и требований по стойкости БАССС этим факторам;
- требования по надежности для заданного срока активного существования БАССС;
- отдельные конструктивно технологические требования к БАССС по её составным частям и исходные данные для схемотехнической составляющей.

Системно-технологическая составляющая формирует техническое задание на разработку БАССС.

Схемотехническая составляющая ИТО БАССС оптимизирует схемотехническую реализацию составных частей БАССС. Проводится комплексное моделирование всех составляющих БАССС и выбор схемотехнических решений и элементной базы для их реализации. Формулируются исходные данные для оптимизации модели.

Результатом схемотехнической оптимизации являются:

- оптимизированные функциональные и принципиальные схемы БАССС и её составляющих;
- перечень комплектующих электрорадиоизделий (ЭРИ);
- оптимизированные входные и выходные характеристики составляющих БАССС;
- технические задания на конструирование составных частей БАССС.

Технологическая составляющая оптимизирует затраты на материалы и технологическую оснастку. По исходной 3D модели БАССС рассчитывается и оптимизируется её технологичность, разрабатывается технология изготовления и трудозатраты. Формирует необходимые данные для оптимизации модели.

Оптимизация модели улучшает БАССС и в первую очередь её массогабаритные характеристики. Оптимизируется также компоновка БАССС и её составных частей. Формируются исходные данные для технологической оптимизации. Результатом оптимизации модели является оптимальная 3D модель БАССС и её составных частей, а также документация для её изготовления.

Оптимизация модели

Учитывая, что спутник эксплуатируется в сложных условиях и подвергается радиационным, механическим и тепловым воздействиям, задача оптимизации модели связана с исследованием устойчивости модели к указанным воздействиям при минимизации массогабаритных характеристик.

Массогабаритные характеристики БАССС играют важную роль. Их оптимизация снижает затраты на изготовление БАССС при гарантированной стойкости БАССС к внешним воздействующим факторам, а также снижает затраты вывода на орбиту полезной нагрузки.

Известно, что вывод на орбиту 1 кг полезной нагрузки ракетой протон составляет \$2826. Сокращение массогабаритных характеристик позволяет выводить на орбиту суммар-

ной полезной массы за меньшее число запусков либо расширить функциональный состав БАССС в одном запуске.

Масса БАССС и её составляющих может быть снижена, например, уменьшением толщины стенок несущих конструкций, составляющих БАССС. При этом необходимо учитывать, что при этом возрастает накопленная доза радиации и снижается механическая прочность. Габариты БАССС и её составных частей могут уменьшаться за счёт оптимизации компоновки БАССС и её составных частей путём повышения коэффициента использования внутреннего объёма БАССС и её составляющих.

Размещение отдельных чувствительных к внешним воздействиям элементов конструкции в более защищенном месте повышает стойкость БАССС к внешним воздействующим факторам. Например, повышения общей радиационной стойкости БАССС можно добиться, перекрывая прямое попадание радиационного излучения на элементы с низкой радиационной стойкостью элементами с высокой радиационной стойкостью. Также размещение тепловыделяющих элементов ближе к поверхности теплоотвода позволяет улучшить тепловой режим работы элементов БАССС.

Оптимизация модели базируется на объективных данных характеризующих конкретную 3D модель конструкции полученных в результате инженерных компьютерных анализов. Механические и тепловые анализы используют метод конечных элементов (МКЭ). Исследуемая 3D-конструкция разбивается на большое число конечных элементов по которым строятся, конечно-элементная сетка. Каждому элементу присваиваются физические и геометрические свойства исследуемой 3D-модели, строятся системы уравнений по числу элементов, ведётся решение системы уравнений. Для механического и теплового анализов используются специальные программы, входящие в стандартные пакеты ПО ANSYS, Solidworks и др.

Инженерный анализ накопленной дозы не использует МКЭ, а применяет метод декорирования. Суть метода заключается в следующем: расчётная 3D-модель БАССС, окружённая сферической защитой, разбивается на N секторов в пределах телесного угла. Для каждого сектора рассчитывается величина защиты и накопленная доза. Затем проводится интегрирование по телесному углу. Для расчёта накопленной дозы используются специальные прикладные программы не входящих в стандартные пакеты ANSYS, SolidWorks и др.

Исходными данными для расчёта являются техническое задание на разработку БАССС, регламентирующее радиационную обстановку для исследуемого объекта (параметры орбиты, срок автономного существования, минимальный уровень внешней защиты, таблицу зависимости накопленной дозы от величины внешней защиты), расчётная 3D-модель БАССС, а также данные по стойкости к накопленной дозе, предоставляемые производителем ЭРИ.

Механический, тепловой и радиационный анализ накопленной дозы положены в основу алгоритма оптимизации конструкции БАССС.

Алгоритм оптимизации модели БАССС

Оптимизация БАССС – многошаговый циклический процесс. В начале процесса по результатам предварительного конструирования создается исходная 3D-модель БАССС. Как правило, исходная 3D-модель создаётся исходя из многолетнего опыта на основе предыдущих конструкций БАССС.

На следующем шаге для исходной 3D-модели проводится радиационный анализ накопленной дозы и вычисляются коэффициенты запаса по накопленной дозе (K_{3i}^D).

$$K_{3i}^D = \frac{D_{pi}}{[D_i]}, \quad (1)$$

где D_{pi} – накопленная доза i-м элементом БАССС; $[D_i]$ – радиационная стойкость i-го элемента по накопленной дозе.

Коэффициенты (1) сравниваются с максимальным и минимальным допустимыми значениями:

$$k_{3i,max}^{Di} > k_{3i}^{Di} \geq k_{3i,min}^{Di} \quad (2)$$

Если условие (2) не выполняется, то вносятся изменения в модель БАССС, и повторяется радиационный анализ. Этот цикл повторяется до выполнения условия (2).

При выполнении условия (2) осуществляется переход к механическому анализу. Проводится механический анализ, и вычисляются коэффициенты запаса по механическим параметрам k_3^{Mi} .

Проверяется условие соответствия:

$$k_{Mi,max} > k_3^{Mi} \geq k_{Mi,min} \quad (3)$$

При несоблюдении условия (3) вносятся изменения в конструкцию БАССС и повторяются циклы радиационного и механического анализов до соблюдения условий (2) и (3). При их соблюдении осуществляется переход к тепловому анализу.

Проводится тепловой анализ. Вычисляются коэффициенты запаса

$$k_3^{Ti} = \frac{Ai}{[T_{доп}]} \quad (4)$$

Проводится соответствие:

$$k_3^{Ti} \geq 1. \quad (5)$$

При несоблюдении условия (5) вносятся изменения в модель БАССС и повторяются циклы радиационного, механического и теплового анализа до соблюдения условий (2), (3), (5). При соблюдении условий процесс оптимизации завершается, а полученная в результате модель БАССС является оптимальной.

Алгоритм оптимизации приведён на рис. 2.

Рис. 2. Алгоритм оптимизации конструкции БАССС

Заключение

В процессе ИТО БАССС закладываются основные уровни затрат на разработку и изготовлении БАССС. Применение компьютерных инженерных анализов позволяет повысить эффективность оптимизации БАССС и алгоритмизировать оптимизацию модели БАССС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Спутниковая связь и вещание: справочник / В.А. Бартенев [и др]. / под ред. Л.Я. Кантора. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1997. 528 с.
2. *Мырова Л.О., Чепиженко А.З.* Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры связи. М.: Радио и связь, 1983. 216 с.
3. *Стренг Г., Фикс Дж.* Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977. 351 с.
4. *Алексеев В.А., Чукин В.Ф., Шишанов А.В.* Прогнозирование теплового режима бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Сетевой электронный научный журнал «Системотехника». 2004. № 2.
5. *Диллон Б., Сингх Ч.* Инженерные методы обеспечения надежности систем: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 318 с.