

ПРОЕКТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Современная тенденция развития радиотехнических систем (РТС) характеризуется увеличением функций, выполняемых ими, что ведет к естественному усложнению схем и конструкций. Одновременно повышаются требования к надежности. В этих условиях большое значение приобретает вопросы обеспечения надежности РТС при проектировании. Наиболее существенными задачами при этом являются:

- уязвимость и недостатки существующей методики обеспечения надежности при проектировании;
- ограничения методов расчета надежности сложных изделий;
- обеспечение совместимости схем расчетов надежности бортовых и наземных частей систем.

Одним из самых сложных классов РТС является класс комбинированных радиотехнических систем (КРТС). Как правило, они представляют собой РТС, имеющие в своем составе два и более класса аппаратуры (рис. 1). Так, КРТС могут содержать несколько космических аппаратов, несущих бортовые радиотехнические комплексы (БРТК), предназначенные для связи и передачи информации по высокоскоростному радиоканалу и размещающиеся в герметизированных отсеках. Наземная часть системы включает несколько подвижных наземных комплексов (ПНК), представляющих собой кузов-контейнер, устанавливаемый на шасси автомобиля типа КАМАЗ, УРАЛ, ЗИЛ, в котором располагается комплект радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), предназначенной для решения большого круга задач, требующих больших вычислительных ресурсов (например, обработку картографических данных).

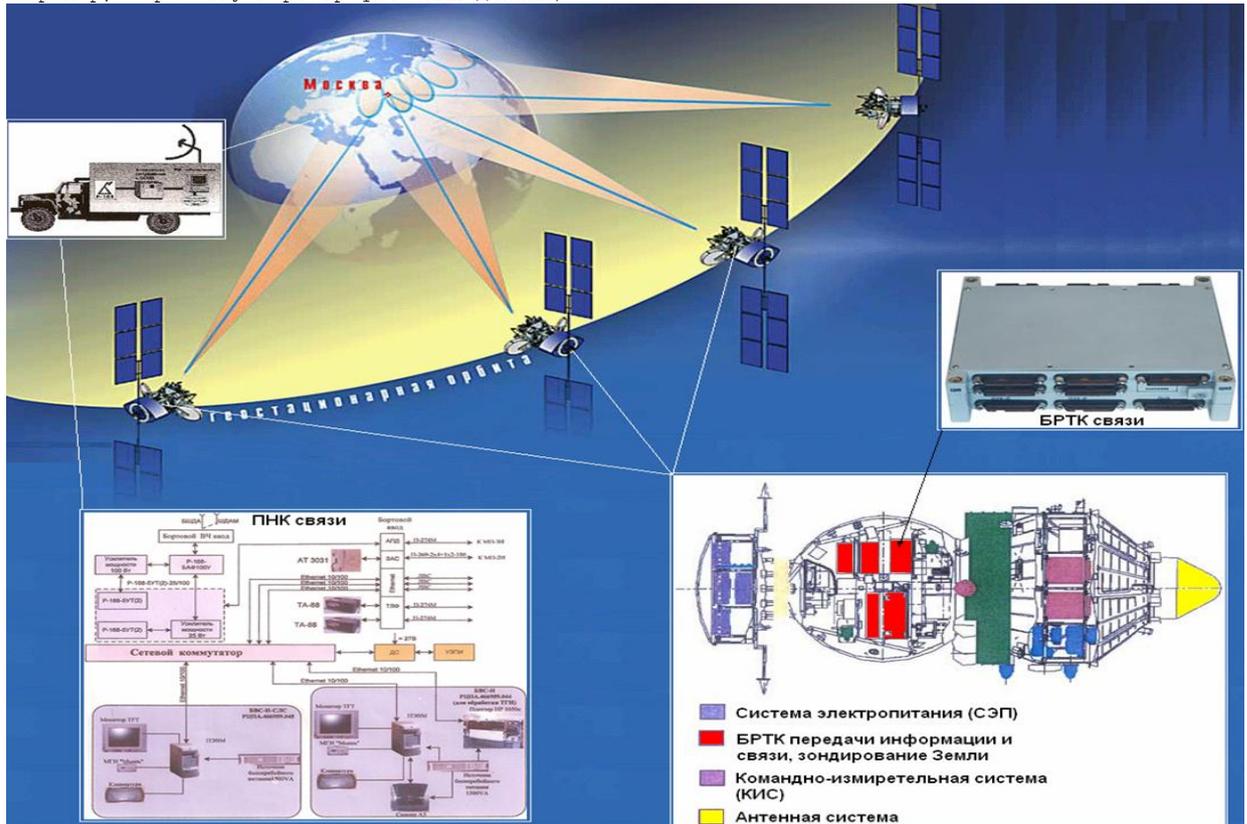


Рис. 1. Пример комбинированной радиотехнической системы

Как правило, проектирование сложных РТС включает следующие этапы:

- техническое предложение;
- эскизное проектирование;
- техническое проектирование;
- этап разработки рабочей документации опытного образца.

Хотя все эти этапы и заканчиваются проведением отдельных расчетов, оценок или анализов надежности бортового или наземного комплексов, но при этом не проводится комплексный расчет надежности всей КРТС (особенно на ранних этапах), что может привести к плачевным результатам (т.е. не удовлетворению требованиям технического задания по надежности), следствием чего является отправка опытных образцов БРТК или ПНК на доработку, значительных финансовых затрат и т.д.

К настоящему времени разработано большое количество методов расчета надежности, которые обычно делят на три группы: аналитические, численные и комбинированные (рис. 2).

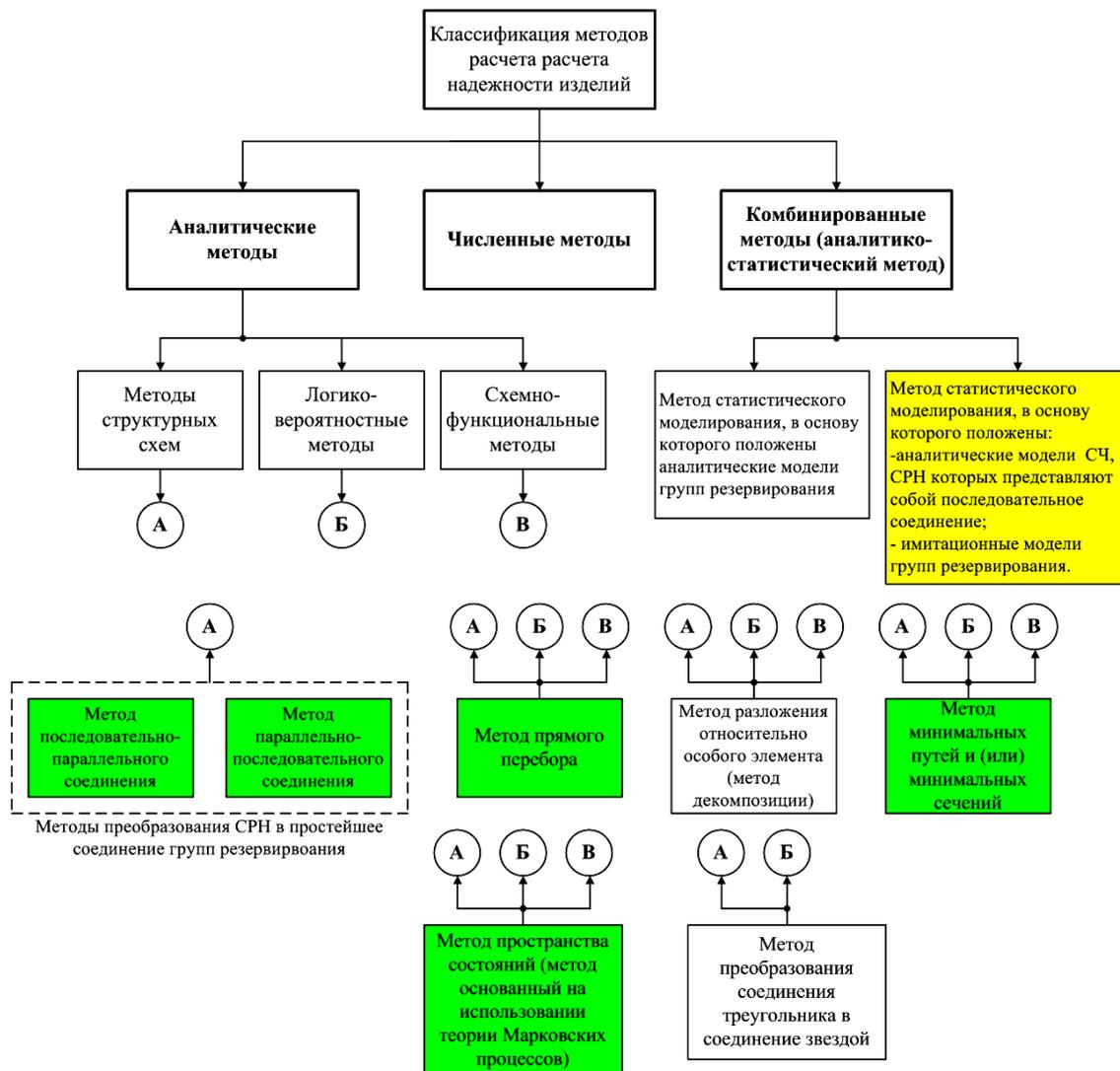


Рис. 2. Классификация методов расчета надежности

Ограничением метода последовательно-параллельного соединения является то, что расчет надежности возможен только в случае, если схема расчета надежности (СРН) может быть сведена к простой схеме (последовательного или параллельного соединения составных частей).

Метод прямого перебора применим лишь для СРН, число элементов n которой небольшое или количество соединений между элементами невелико, т.к. размерность задачи, в зависимости от числа элементов и связей между ними возрастает пропорционально 2^n .

Методы минимальных путей и минимальных сечений применимы для расчета только одного показателя – вероятности безотказной работы (причем, позволяют получить только интервальную оценку).

Хотя метод пространства состояний и позволяет рассмотреть произвольное соединение элементов восстанавливаемых ПНК, однако, основным недостатком метода является трудоемкость решения задачи получения математического соотношения для расчета показателей надежности и получения лишь нижней оценки средней наработки на отказ.

В особую группу можно отнести комбинированные методы, основанные на методе статистических испытаний, которые можно разделяются на две группы:

- методы, в основу которых положены аналитические модели групп резервирования, т.е. привязаны к моделям отказов;
- методы, в основу которых положены имитационные модели групп резервирования, и лишь аналитические модели составных частей (СЧ).

Классический подход к расчету надежности КРТС представляет собой последовательность действий, которая приведена на рис. 3.

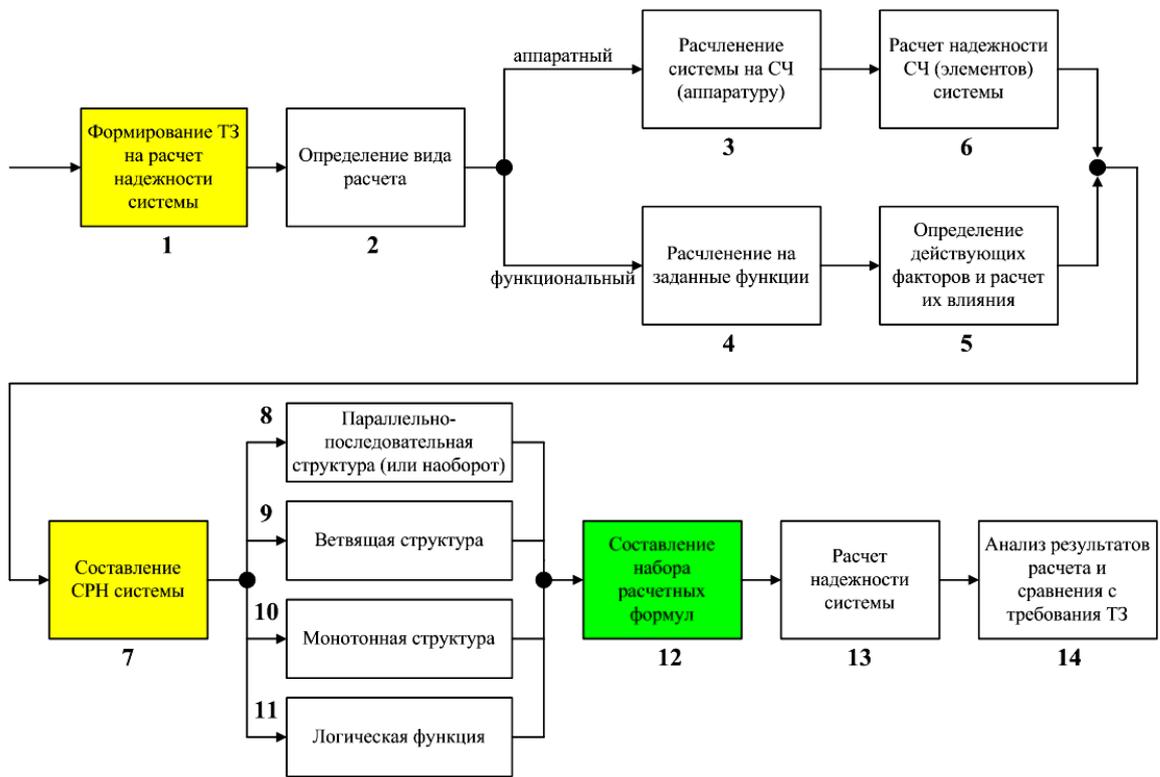


Рис. 3. Методика проведения расчета надежности КРТС

Ключевыми операциями методики являются:

- Блок 1 - формирование задания на расчет надежности, где должны быть приведены: назначения изделия, ее состав, основные сведения о функционировании, требуемые значения показателей надежности, признаки отказов, временные графики работы, условия эксплуатации и др.

- Блок 7 - разработка СРН на основе критериев отказов;

- Блок 12 - синтез расчетных соотношений, точность и достоверность которых определяется в зависимости от адекватности к СРН, объекту исследования, выбранного метода и принятых допущений. Эта операция является основной, определяющей ход дальнейших действий по анализу надежности.

Рассмотрим пример расчета составных частей КРТС в соответствии с методикой, приведенной на рис.3.

Особенность расчета БРТК заключается в том, что в он является сложным, невосстанавливаемым, работающим в сеансном режиме устройством, подверженным жестким условиям эксплуатации в течении не менее 3 лет. Поэтому для обеспечения требований используются всевозможные методы повышения надежности, при этом одним из самых эффективных является введения аппаратурной избыточности. Это приводит к сложной монотонной структуре СРН (см. рис. 4).

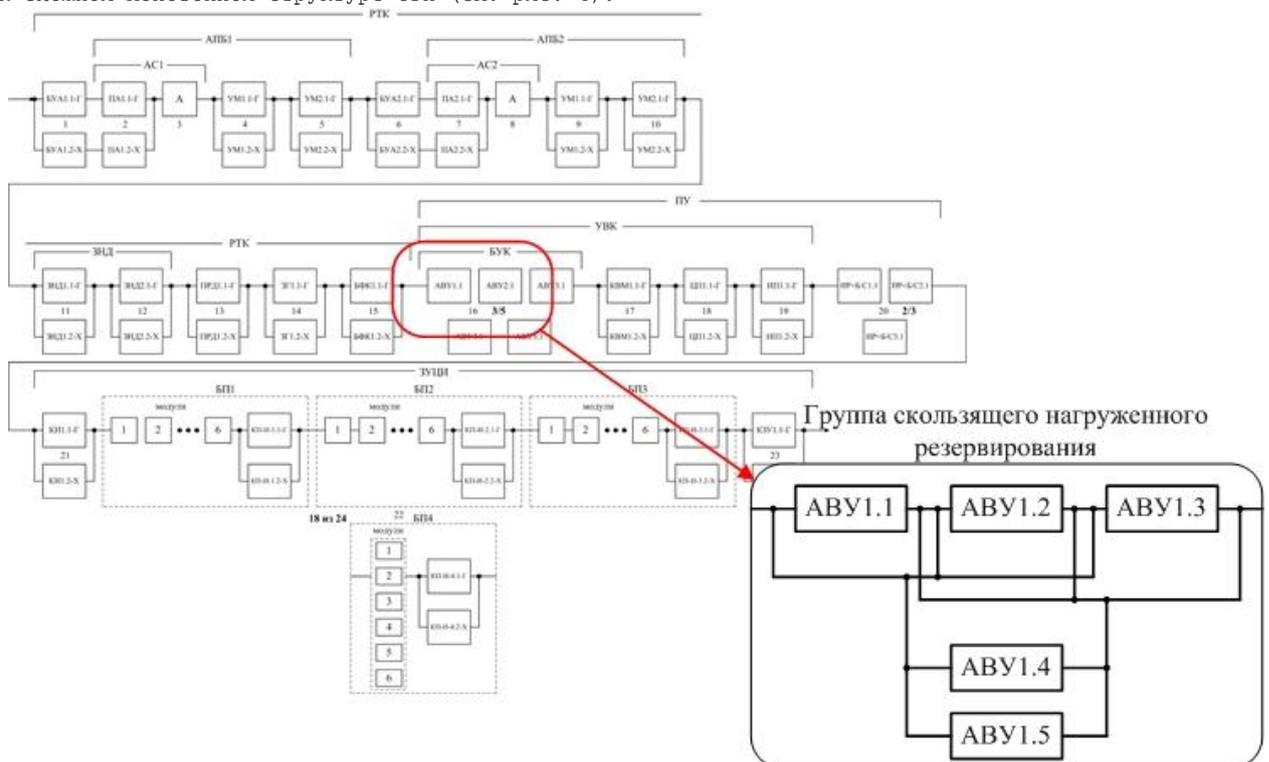


Рис. 4. Пример СРН БРТК

Рис. 6. Формирование матрицы переходов группы однократного нагруженного резервирования

Используя преобразования Лапласа получаем систему уравнений для расчета вероятностей состояний группы (3), в результате решения которой определяем коэффициент готовности (4), по приближенной формуле определяем среднюю наработку на отказ (5) и среднее время восстановления (6).

$$\begin{cases} P_0 = \frac{1}{1 + \frac{2\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{\mu^2}}, \\ P_1 = \frac{\frac{2\lambda}{\mu}}{1 + \frac{2\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{\mu^2}}, \\ P_2 = \frac{\lambda}{2\mu} P_1 = \frac{\frac{\lambda^2}{\mu^2}}{1 + \frac{2\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{\mu^2}} \end{cases} \quad (3)$$

$$K_G = P_0 + P_1 \quad (4)$$

$$T_0 = \int_0^{\infty} P_{1,1}(t) dt \approx \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^{m+1} \frac{1}{k} \quad (5)$$

$$\tau_{\text{всп},1} = \frac{\tau_{\text{вэ}i}}{m+1}, \text{ где } \tau_B = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{\text{вэ}i} \lambda_{ip}}{\sum_{i=1}^n \lambda_{ip}} \quad (6)$$

Основной проблемой при использовании рассмотренного выше (стандартного) подхода совмещения по данным надежности, является то, что все составные части КРТС должны иметь экспоненциальную модель отказов. Однако модели отказов резервированных СЧ отличаются от экспоненциальной.

Так, при проведении расчета комбинированной радиотехнической системы при использовании традиционных методов было установлено, что по сравнению с результатами граничных испытаниях, значения показателей сильно различаются, причем в сторону занижения значений показателей надежности.

Поэтому нам представляется, что более рациональным подходом является разделение элементов (СЧ) КРТС на автономные и связанные элементы (АЭ и СЭ соответственно на рис. 7) и распределение показателей надежности между ними, что позволяет получить более точные значения показателей надежности.

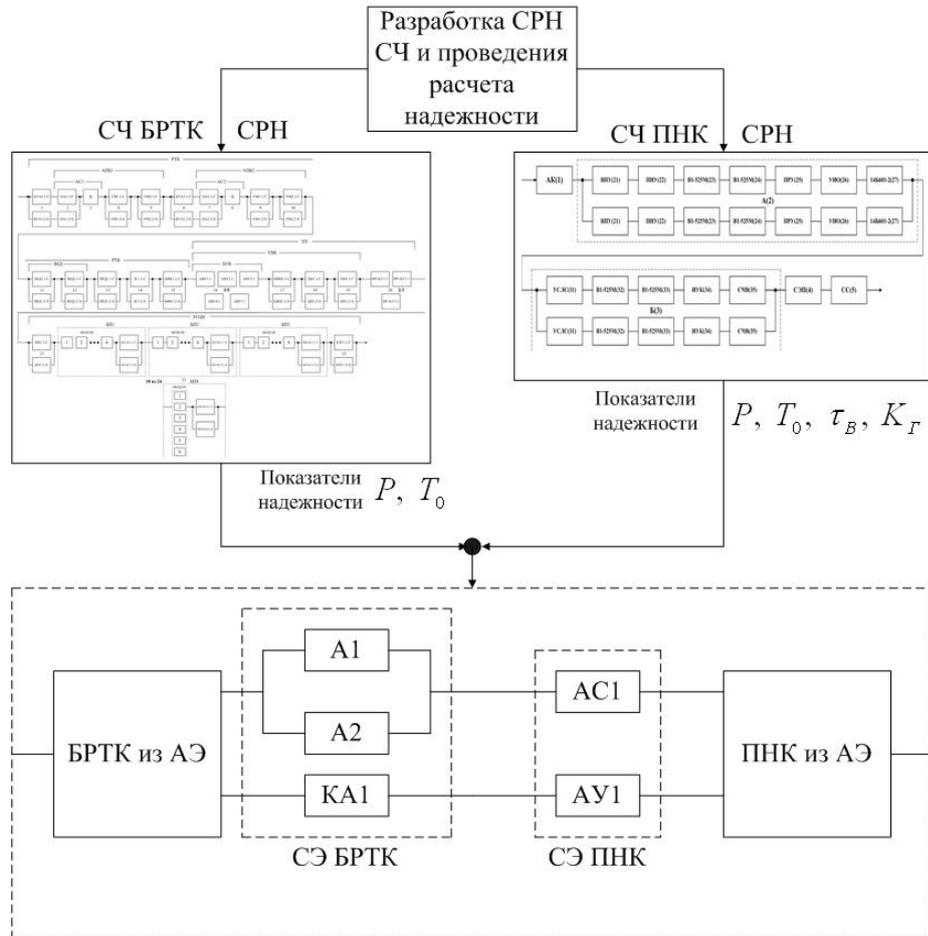


Рис. 7. Пример реализации метода совместимости по надежности СЧ КРТС

Таким образом, результаты работы показали, что:

Схемы расчета надежности КРТС имеют сложную структуру;

В типовой методике проектирования КРТС на ранних этапах не предусмотрено проведение комплексного расчета надежности КРТС в целом.

Существующие методы расчета надежности (аналитические), применяемые при проектировании КРТС имеют ряд недостатков, главными из которых являются:

невозможность расчета средней наработки до отказа и среднего времени восстановления, а получение лишь их нижних оценок;

трудоемкость вычисления показателей надежности изделий, СРН которых представляет собой монотонную структуру даже с использованием универсальных математических пакетов (*MatCad*, *Mathematica* и др.);

отсутствие стандартов по выполнению схем расчета надежности изделий, что затрудняет их восприятие, а, следовательно, и построение математических моделей надежности КРТС;

отсутствие алгоритмов совместимости СРН для резервированных СЧ;

использование аналитических методов позволяет получать лишь нижние оценки показателей надежности. Это приводит, например, как в случае с БРТК, к введению дополнительной избыточности, а, значит, к значительному увеличению массогабаритных характеристик и удорожанию системы, что всегда нежелательно, а в данном случае просто неприемлемо.

Поэтому необходима разработка метода расчета надежности сложных изделий, позволяющего совмещать СРН элементов КРТС на базе аналитико-статистического моделирования на ЭВМ. Основу метода должны составить аналитические модели СЧ (или групп, представляющих собой последовательное соединение элементов) и имитационных (алгоритмических) моделей резервированных групп.

Так же необходимо унифицировать «Правила выполнения СРН», которые необходимы не только для нормализации и единообразия их выполнения, но и при создании программных средств расчета надежности, примером которых может служить «Система расчета надежности изделий» ПК АСОНИКА-К. Эта система в настоящее время проходит апробацию на таких предприятиях, как ФГУП «Научно-исследовательский институт точных приборов», ЗАО «Всероссийский институт волоконно-оптических систем связи и обработки информации» и др.