

Методика оценивания надёжности современных радиоэлектронных систем космических комплексов

И. А. Козин¹, А. В. Гришин, В. В. Гришин
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
¹kozinov.ia@mail.ru

Аннотация. The review of methods of estimation of reliability of radio-electronic systems is spent. Application of the general logiko-likelihood method of estimation of reliability of radio-electronic systems of space complexes is proved. The technique of estimation of reliability of modern radio-electronic systems of the space complexes, based on application of the general logiko-likelihood method taking into account structure of radio-electronic systems, modes of their functioning and application conditions is offered.

Ключевые слова: radio-electronic systems of space complexes; the general logiko-likelihood method; a technique of estimation of reliability

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время космические средства занимают всё большее место в различных сферах жизни общества: научных исследований, социально-экономической, обороны и безопасности государства. Всё расширяющиеся потребности в использовании космических средств обуславливают увеличение типов орбитальных группировок космических аппаратов (КА), входящих в состав соответствующих космических комплексов (КСК).

Для обеспечения управления КА в составе КСК созданы и развиваются наземные комплексы управления (НКУП). Объёмы и сложность выполняемых задач по управлению орбитальными группировками КА обуславливают структурную сложность самих средств управления, входящих в состав НКУП и представленных в основном радиоэлектронными системами (РЭС). От надёжности РЭС зависит эффективность применения КА

по целевому назначению, поэтому оценивание и поддержание надёжности РЭС является важнейшей задачей при их эксплуатации. При оценивании надёжности современных РЭС следует учитывать как их структурные особенности, так и режимы функционирования и условия применения.

При этом необходимо использовать такой методический аппарат, который позволит наиболее достоверно оценить надёжность РЭС и, в конечном итоге, обеспечить их готовность к выполнению задач по управлению КА.

II. МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Ключевыми особенностями современных РЭС КСК являются: иерархическая структура; наличие интегрированных аппаратных и программных средств; применение различных видов резервирования; многофункциональность; способность работать также с пониженными показателями надёжности (ПН). В силу этих особенностей точное определение ПН современных РЭС КСК не представляется возможным. По этой причине для расчёта ПН РЭС применяются приближённые математические методы и допущения, не противоречащие их физической сущности и решаемым задачам. Такими допущениями являются [1]: относительная простота структурных схем расчёта ПН; независимость элементов РЭС по отказам и по восстановлению; как правило, использование экспоненциального закона распределения (как для времени безотказной работы, так и для времени восстановления элементов РЭС); стационарность ПН; регламентированный порядок действий по восстановлению отказавших элементов РЭС.

В настоящее время для оценивания надёжности аппаратных средств РЭС КСК наибольшее применение нашли следующие методы [2]:

- метод с использованием структурных схем надёжности, сущность которого заключается в построении структурных блок-схем надёжности, представляющих РЭС в виде совокупности ее элементов, соединенных определенным образом (в смысле надёжности), и описании этих схем с помощью математического аппарата, позволяющего вычислить ПН системы по данным о надёжности ее элементов;
- метод с использованием деревьев событий, сущность которого заключается в графическом отображении причинно-следственных связей функционирования РЭС через функционирование ее элементов, описании их с помощью математического аппарата, позволяющего вычислить ПН системы по данным о надёжности ее элементов;

- метод с использованием марковских цепей, сущность которого заключается в построении графа, описывающего состояния и переходы между состояниями РЭЛС, записи системы дифференциальных (алгебраических) уравнений, решении этой системы и определении вероятностей нахождения РЭЛС в каждом из состояний и вычислении требуемых ПКН;
- логико-вероятностные методы, сущность которых заключается в нахождении условий работоспособности (неработоспособности) РЭЛС, используя функции алгебры логики и данные о бинарных состояниях ее элементов с последующим переходом к вероятностным характеристикам элементов и заменой логических функций на алгебраические, и вычислении требуемых ПКН;
- метод Монте-Карло (метод статистического моделирования), сущность которого состоит в имитации на ЭВМ поведения РЭЛС путем построения некоторого алгоритма, генерации значений случайных величин с заданным распределением вероятностей и получения серии значений требуемых ПКН, которые обрабатываются методами математической статистики и могут быть приняты в качестве оценок искомых ПКН.

Для оценки надёжности программных средств широкое применение нашли методы с использованием следующих моделей [3]:

- модели Шумана, в которой случайное время отказа программы подчиняется экспоненциальному закону распределения. При этом, параметры распределения определяются по следующим показателям: количества ошибок в самом начале отладки, количества машинных команд в программе (модуле), количества исправленных (оставшихся) ошибок в расчёте на одну команду;
- модели Моранды, которая характеризуется тем, что интенсивность появления ошибок в ней подчиняется геометрической прогрессии (актуальна при небольшой длительности отладки);
- модели Шика-Волвертона, которая характеризуется тем, что время между обнаруженными ошибками подчиняется рэлеевскому распределению (интенсивность ошибок с течением времени возрастает линейно);
- модели Сукерта, которая использует два параметра распределения и подчиняется закону распределения Вейбулла (реализует более жесткие требования к надёжности);
- модели Нельсона, которая характеризуется тем, что в качестве показателя надёжности в ней принимается вероятность безотказного выполнения заданного количества прогонов программы.

Важно отметить, что существующие методы оценивания надёжности РЭЛС КСК предполагают, во-первых, раздельное оценивание надёжности аппаратных и программных средств, входящих в состав РЭЛС, а во-вторых, они не учитывают режимы их функционирования и условия применения [4]. Решение задачи оценивания надёжности современных РЭЛС с учетом названных особенностей представляет научный и практический интерес. Для решения этой задачи предлагается использовать общий логико-вероятностный метод, являющийся развитием классического логико-вероятностного метода.

Общий логико-вероятностный метод (ОБЛВМ) характеризуется [5]:

- возможностью использования для структурного описания РЭЛС универсального аппарата схем функциональной целостности;
- применением при структурном и аналитическом моделировании всех операций алгебры логики («и», «или», «не»), которые можно использовать для построения монотонных и немонотонных моделей функционирования РЭЛС КСК;
- возможностью использования на вероятностном уровне не только условия о независимости событий, но и группы несовместных событий, а также учета множественных состояний элементов и различных последовательностей свершения случайных событий во времени.

Именно ОБЛВМ позволяет получить совместную оценку надёжности аппаратных и программных средств РЭЛС, а также учесть режимы их функционирования и условия применения.

III. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Для оценивания надёжности современных РЭЛС КСК предлагается методика, основанная на использовании ОБЛВМ:

1) Формализованная постановка задачи и первичное структурно-логическое моделирование:

- построение структурной модели исследуемой РЭЛС, то есть её формализованной схемы;
- задание логических критериев функционирования РЭЛС с учетом режимов функционирования и условий применения;
- учёт исходных данных (заранее известных или вычисленных значений вероятностных параметров надёжности элементов РЭЛС).

2) Построение логической функции работоспособности РЭЛС КСК ($Y_{ЛФР}$), однозначно представляющей события, вероятности реализации которых характеризуют исследуемые свойства надёжности РЭЛС.

3) Построение и нахождение вероятностной функции работоспособности через логическую функцию работоспособности РЭЛС КСК:

$$P_p = P\{Y_{лфр}\} = P(\{P_i, Q_i\}, i = \overline{1, N})$$

где вероятность P_p определяет возможность реализации РЭЛС её функции работоспособности $Y_{лфр}$, определяемой заданными логическими критериями функционирования элементов РЭЛС ($Y_{лфр_i}$) и зависящей от конъюнкций, дизъюнкций и инверсий простых элементарных случайных событий элементов модели ($\tilde{x}_i = \{x_i, \bar{x}_i\}$), собственные вероятностные показатели которых (P_i и Q_i) считаются известными.

4) Расчёт требуемых ПКН РЭЛС на основе известных математических выражений.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные РЭЛС КСК, относящиеся к классу структурно-сложных технических систем и имеющие в своём составе различные аппаратные и программные средства, должны обладать высоким уровнем готовности к применению по назначению, что в первую очередь обеспечивается их высокой надёжностью. Для получения достоверного оценки надёжности необходим методический аппарат, учитывающий, как факт совместного, взаимообусловленного функционирования аппаратных и программных средств, так и особенности их

применения и функционирования. Однако известные модели оценивания надёжности РЭС разработаны применительно либо к аппаратным, либо к программным средствам и не учитывают вышеуказанные особенности применения и функционирования современных РЭЛС. Это приводит к снижению достоверности оценки надёжности РЭЛС КСК с использованием известных моделей. В связи с этим предлагается использовать метод оценивания надёжности современных РЭЛС, предполагающий комплексирование моделей надёжности их аппаратных и программных средств на основе аппарата общего логико-вероятностного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 702 с.
- [2] ГОСТ Р 51901.5-2005 Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. М.: Стандартиформ, 2005. 71 с.
- [3] Козинев И.А., Мальцев Г.Н. Эксплуатация информационно-вычислительных комплексов: учебное пособие. СПб: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2012. 124 с.
- [4] Черкесов Г. Н. Надёжность аппаратно-программных комплексов. СПб.: Питер, 2005. 479 с.
- [5] Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надёжности структурно сложных систем: учебное пособие. СПб.: ВМА имени Н. Г. Кузнецова, 1998. 230 с.