

АЛГОРИТМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В различных режимах функционирования космических аппаратов наблюдения (КАН) встречаются частичные отказы элементов бортовых систем (БС), приводящие к снижению требуемых показателей целевой эффективности (детальности и периодичности наблюдения, производительности съёмки и оперативности доставки информации на Землю). При возникновении таких отказов происходит перерыв в работе целевой аппаратуры или наблюдается несоответствие выходных параметров обеспечивающей аппаратуры заданным в тактико-техническом задании (ТТЗ). Используемые методы для прогнозирования влияния показателей надёжности КАН на показатели целевой эффективности базируются на статистических данных, но для КАН с новым составом бортовых систем имеющийся статистический материал, как правило, недостаточен. Поэтому на этапе проектирования для оценки влияния отказов элементов бортовых систем на целевые показатели эффективности КАН предлагается использовать метод имитационного моделирования.

Основной целью исследования является разработка алгоритмов имитационного моделирования отказов элементов БС на основе математических моделей отказов для учёта влияния показателей надёжности на производительность КАН. На основе таких алгоритмов можно создать программное обеспечение для построения зависимости производительности космической системы наблюдения от показателей надёжности КАН. С помощью такой зависимости, с одной стороны, можно оценивать потери выходного эффекта КАН при заданных уровнях надёжности КА, а с другой стороны, нормировать надёжность КАН и БС с целью обеспечения выходного эффекта, заданного в ТТЗ.

При разработке алгоритма имитационного моделирования отказов БС должно учитываться то обстоятельство, что программный модуль, построенный на основе этого алгоритма, предполагается использовать в составе программы имитации орбитального полёта и целевого функционирования КАН.

Исходными данными для построения алгоритма имитационного моделирования отказов БС являются:

- срок активного существования КАН;
- дерево отказов КАН, построенное на основе анализа работоспособности БС;

– логическая функция отказа (или работоспособного состояния) КАН в зависимости от состояния логических переменных, имитирующих состояние бортовых систем (работоспособное или неработоспособное).

Закон изменения надёжности КА $P_{КА}$ в зависимости от времени t его работы принимается экспоненциальным:

$$P_{КА} = \exp(-\lambda_{КА} \cdot t), \quad (1)$$

где $\lambda_{КА}$ – интенсивность отказов КА.

Такой закон принимается потому, что истинный закон неизвестен, поскольку отсутствует достаточная статистика для определения закона надёжности однотипных, тем более уникальных КА. При использовании экспоненциального закона показатели надёжности для высоконадёжных объектов являются заниженными по отношению к некоторым другим законам, в частности, к нормальному закону. Кроме того, экспоненциальный закон является однопараметрическим, что существенно упрощает моделирование.

Моделирование времени отказов КА в соответствии с экспоненциальным законом распределения основано [1] на использовании обратной функции (1), а именно:

$$t_{КА} = \frac{\ln(\xi)}{\lambda_{КА}}, \quad (2)$$

где ξ – случайное число с равномерным законом распределения на отрезке $[0, 1]$, которое моделирует случайное значение показателя надёжности $P_{КА}$.

Моделирование времени отказов бортовых систем КА осуществляется также по зависимости (2) с учётом того, что вместо интенсивности отказов КА используются интенсивности отказов соответствующих бортовых систем $\lambda_{БС}$.

Исходные данные по интенсивности отказа КА и БС берутся по данным статистики для конкретного варианта КА. Для расчёта интенсивностей отказа БС для других уровней надёжности КА используется методика нормирования показателей надёжности бортовых систем, изложенная в [2].

Блок-схема алгоритма имитации отказов БС КАН приведена на рис. 1.

В алгоритме предусмотрено сравнение случайного времени отказа какой-либо БС с текущим временем полёта и функционирования КАН. В случае равенства этих времён вызывается генератор случайных чисел с целью назначения с помощью имитационного моделирования времени простоя целевой аппаратуры.

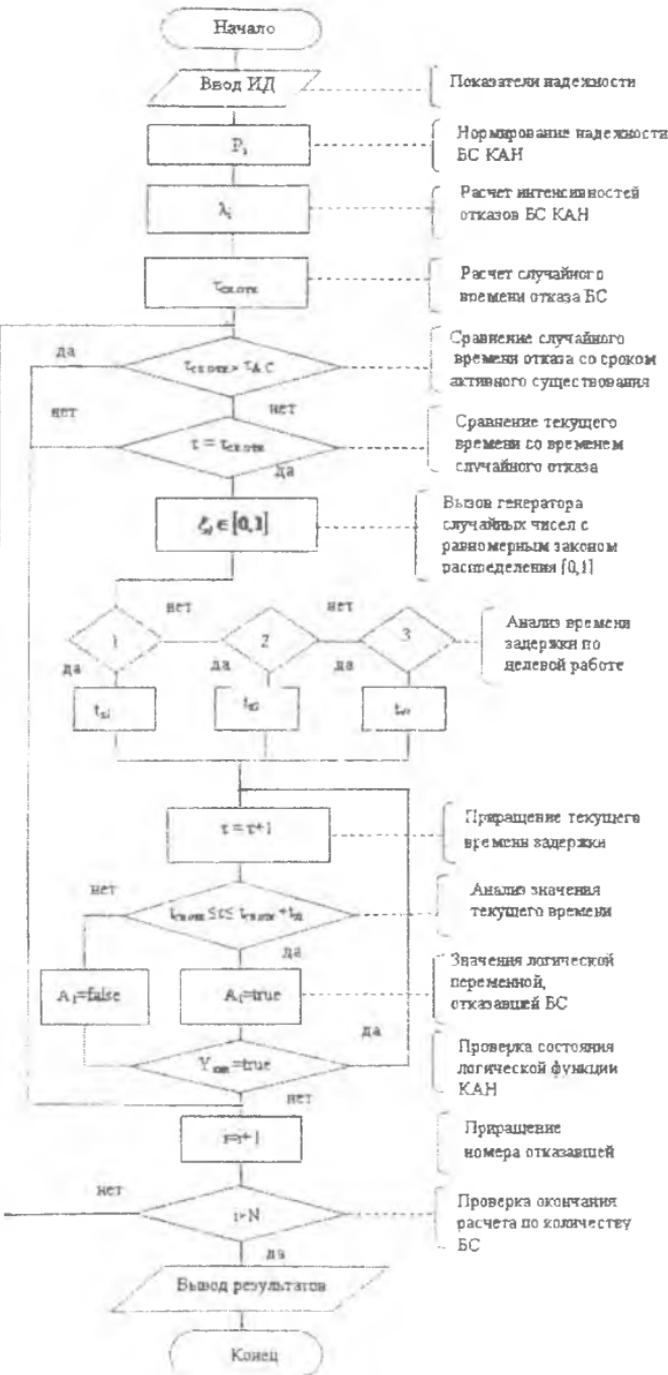


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Далее анализируется попадание текущего времени в интервал между временем отказа и временем отказа плюс время простоя в работе целевой аппаратуры. В случае выполнения условия логической переменной отказавшей БС присваивается значение «ложь», а в противном случае – «истина».

Состояние КА (работоспособное или нет) оценивается с помощью логической функции отказа, которая зависит от состояния бортовых систем. Логическая функция отказа КА составляется заранее на основе анализа видов, последствий и критичности отказов бортовых систем КА [2].

Данный алгоритм является составной частью алгоритма имитации орбитального полёта и целевого функционирования КА наблюдения [3]. Для оценки производительности КА в основной программе включается счётчик отснятых объектов (в режиме имитации съёмки). При паличии отказов КА этот счётчик отключается.

Алгоритм имитационного моделирования отказов может быть использован при разработке программного обеспечения для прогнозирования целевых показателей эффективности с учётом показателей надёжности бортовых систем КА наблюдения, а также для нормирования показателей надёжности бортовых систем.

Библиографический список

1. Ермаков, С.М. Статистическое моделирование [Текст]/ С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. – М. Наука, 1982. – 296 с.
2. Куренков, В.И. Методы расчёта и обеспечения надёжности ракетно-космических комплексов [Текст]/ В.И. Куренков, В.А. Капитонов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 320 с.
3. Куренков, В.И. Основы устройства и моделирования целевого функционирования КА наблюдения [Текст]/ В.И. Куренков, В.В. Салмин, Б.А. Абрамов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 296 с.