

УДК 629.78

ВЛИЯНИЕ НАДЁЖНОСТИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИОДИЧНОСТИ СЪЁМКИ

© 2013 А. Н. Кирилин¹, Р. Н. Ахметов¹, В. И. Куренков², В. А. Капитонов¹,
Н. Р. Стратилатов¹, В. В. Лохматкин¹

¹ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс»», г. Самара

²Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Предложена методика оценки периодичности съёмки космического аппарата (КА) ДЗЗ с учётом надёжности бортовых систем. Эта методика основана на имитационном моделировании целевого функционирования КА с учётом отказов бортовых систем.

Космический аппарат, дистанционное зондирование Земли; периодичность съёмки; надёжность бортовых систем; частичные отказы; математическая модель; алгоритм; программное обеспечение; имитационное моделирование.

Актуальность и постановка задачи исследования. Одним из важных целевых показателей эффективности космических систем (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является периодичность наблюдения, которая, как правило, измеряется временем между двумя соседними (смежными) съёмками заданного объекта наблюдения (ОН). Она также может характеризоваться частотой съёмки за определённый период. В общем случае периодичность является случайной величиной, поэтому наиболее полно она характеризуется функцией распределения или функцией плотности распределения. В качестве частных показателей периодичности используются числовые характеристики этой случайной величины: математическое ожидание, дисперсия, верхние или нижние доверительные границы, крайние значения периодичности из выборки и др. Периодичность может характеризоваться и вероятностными показателями, например, вероятностью того, что показатель периодичности будет не хуже заданного.

В общем случае значение показателей периодичности космической системы (КС) ДЗЗ зависит от многих факторов - её

свойств (характеристик), условий применения средств КС и *управления* этими средствами. Применительно к орбитальной группировке (ОГ) на показатели периодичности в большей степени влияют следующие факторы:

- баллистические параметры ОГ, характеристики каждого отдельного КА (ширина полосы обзора, предельные углы отклонения оптической оси от надира, свойства аппаратуры наблюдения);

- геодезическая широта расположения ОН, нахождение ОН в световом пятне или вне его (для КА наблюдения в видимом спектре);

- распределение работ по зондированию между отдельными КА, оптимизация маршрутов съёмки, циклограммы работы бортовой и обеспечивающей аппаратуры и др.

Кроме того, на реальные показатели периодичности существенное влияние оказывают такие случайные факторы, как частичные отказы бортовых систем (БС). При возникновении определённых отказов БС, относящихся к классу восстанавливаемых, съёмка может не состояться какое-то время, и БС как бы «простаивают» по целевому функционированию. В

этой связи уместно говорить не о баллистической периодичности, а о действительной (эффективной).

Ожидаемое влияние показателей надёжности КА ДЗЗ на показатель периодичности наблюдения E , если он измеряется в единицах времени, можно представить в виде графиков, показанных на рис. 1. На этом рисунке: $E_1(P)$, $E_2(P)$ и $E_3(P)$ - возможные формы зависимостей показателей периодичности наблюдения от показателя надёжности КА; E_0 - значение показателя периодичности при надёжности КА, равной единице; $E_{доп}$ - допустимый уровень показателя периодичности наблюдения КА; ΔE - допустимые потери показателя периодичности от снижения надёжности КА, $P_{1Н}$, $P_{2Н}$ и $P_{3Н}$ - показатели надёжности, соответствующие допустимому уровню потери показателя периодичности.

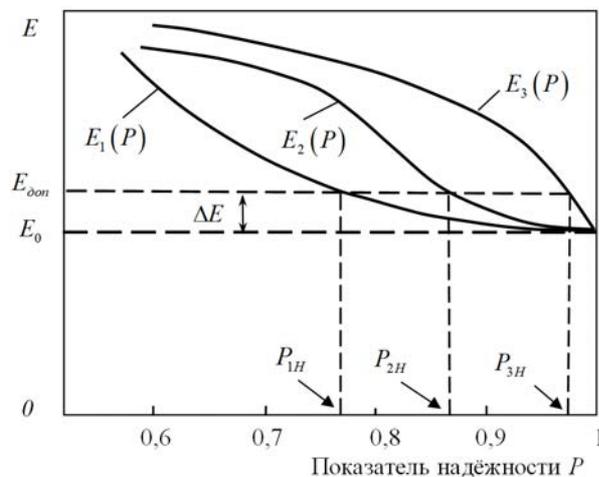


Рис. 1. Влияние показателя надёжности КА на периодичность съёмки

Отметим, что если в качестве показателя периодичности рассматривать частоту съёмки смежных объектов за определённый период времени, то характер кривых на графике изменится - с уменьшением надёжности показатель периодичности должен уменьшаться.

Зависимости такого рода, если они получены на ранних этапах проектирования КА, могут служить, во-первых, для

более точного прогнозирования показателей периодичности КС в процессе длительного функционирования в условиях снижения надёжности КА. Во-вторых, они могут служить в качестве исходных данных для нормирования показателей надёжности целевой аппаратуры, бортовых обеспечивающих систем и КА в процессе его создания. Например, показатели $P_{1Н}$, $P_{2Н}$ и $P_{3Н}$ могут быть приняты в качестве ограничений или (при определённых условиях) за нормируемые показатели. Заметим, что нормирование проводится не только по показателю периодичности, но и с учётом других показателей целевой эффективности, а также с учётом резервирования, ограничений по массе БС, ресурсов, срока активного существования и др.

Однако проблема состоит в том, что в настоящее время такие зависимости получают лишь по результатам эксплуатации уже созданных КА. При проектировании же новых КА используются результаты статистических обработок предшествовавших или эксплуатирующихся КА. Это допустимо при создании аналогичных по конструкции и составу бортовых систем КА. Но если разрабатываемый КА существенно отличается от ранее созданных, то такой подход не всегда приемлем. Поэтому задача получения функциональных зависимостей влияния показателей надёжности бортовых систем КА на показатели периодичности наблюдения при проектировании является актуальной.

Решить такую задачу можно с применением методов моделирования целевого функционирования. Имеется достаточное количество публикаций по моделированию целевого функционирования КА ДЗЗ [1 - 4]. Однако работ по моделированию влияния показателей надёжности КА на показатели периодичности практически не встречается. Авторы настоящей работы пытаются восполнить этот пробел.

Суть моделирования. Производится имитация орбитального движения КА и его функционирования по целевому назначению. Организуется также имита-

ция отказов элементов целевой аппаратуры и бортовых обеспечивающих систем в зависимости от моделируемого уровня надёжности. Для каждого момента времени имитации производится проверка работоспособности целевой аппаратуры и бортовых обеспечивающих систем. В случае отказа оценивается случайное время вынужденных перерывов в работе той или иной бортовой системы. Показатель периодичности подсчитывается с учётом этих перерывов. Расчёт прекращается при отказах КА, при которых невозможно дальнейшее функционирование по целевому назначению (возникновение критичных отказов), либо при достижении времени, равному сроку активного существования.

Такого рода расчёты проводятся для различных уровней надёжности. На каждом уровне производится заданное количество статистических испытаний или такое количество, которое обеспечивает заданную точность моделирования.

Результатами расчёта являются текущее, минимальное, максимальное значения показателя периодичности, математическое ожидание и дисперсия этого времени. Кроме того, рассчитываются параметры функции распределения и плотности распределения. При необходимости строятся графики этих функций.

Моделирование целевого функционирования. Модели, алгоритмы и программное обеспечение имитационного моделирования функционирования КА по целевому назначению (без учёта показателя надёжности КА) разработаны одним из авторов настоящей работы и представлены в [4]. Для расчёта параметров орбит использовались уравнения эллиптического движения с периодической коррекцией расчётных значений долготы восходящего узла (прецессии орбиты) и аргумента перигея в процессе длительного полёта, вызванных несферичностью Земли (учитывались вековые возмущения от второй зональной гармоники в разложении геопотенциала).

Для запуска программы должны быть заданы параметры орбиты КА:

наклонение плоскости, долгота восходящего узла, аргумент перигея, высоты перигея и апогея КА, шаг расчёта по времени, угол Солнца над горизонтом, при котором возможна качественная съёмка, среднее время перенацеливания КА с одного объекта наблюдения на другой, максимальное значение угла отклонения оптической оси КА от надира и др. Остальные исходные данные, необходимые для моделирования влияния отказов на производительность КА, получают как промежуточный результат вычислений в процессе работы модернизированного программного обеспечения [4], а именно: долгота и широта подспутниковой точки КА на поверхности Земли в каждый момент времени имитационного моделирования, появление КА в световом пятне (где КА отработывает программу съёмки). При моделировании учитываются программные и случайные развороты КА.

Моделирование отказов и времени простоя элементов бортовых систем. При имитации случайного времени отказов какого-либо элемента бортовых систем принят экспоненциальный закон распределения, который характерен для периода нормальной работы элементов сложных изделий (исключая период приработки и старения). Этот закон наиболее распространён в практике расчёта надёжности бортовых систем КА и их элементов [5]. В качестве исходных данных используются статистические данные по аналогичным элементам. Если имеются данные по интенсивности отказов I , то моделирование случайного времени отказа элемента производится по формуле [5]:

$$t_{\text{отк}} = \frac{-\ln x}{I}, \quad (1)$$

где x - случайное число с равномерным законом распределения на отрезке $[0, 1]$.

Если статистических данных по интенсивности отказа нет, то в качестве исходных данных используется вероятность безотказной работы элемента P за какой-либо промежуток времени t . Расчёт интенсивности отказов элемента производится по зависимости, которая является

обратной по отношению к экспоненциальному закону:

$$l = \frac{-\ln P}{t} \tag{2}$$

Далее определяется случайное время отказа элемента по формуле (1).

Адекватность данной модели проверялась численно путём построения функции плотности распределения и сопоставления с теоретической функцией. Показано, что при 20 тысячах испытаний статистическая и теоретическая функции распределений практически совпадают.

Время простоя по целевой работе бортовой системы (с момента отказа до момента восстановления работоспособности) определяется с учётом статистических данных по эксплуатирующимся КА ДЗЗ. В табл. 1 в качестве примера приведены время простоя t_{zi} и относительная частота возникновения отказа h_i одного из эксплуатируемых КА.

Таблица 1. Статистические данные по времени простоя и частоте отказов

Время простоя t_{zi} , час	Относит. частота, возникн. отказа h_i
До 0,15	0,429
0,15 ... 1,5	0,233
1,5 ... 4,14	0,135
4,14 ... 3,2	0,015
3,2 ... 6,0	0,168
6,0 ... 30	0,020
	$\Sigma = 1,000$

Учитывая, что сумма относительных частот равна единице, моделирование времени простоя можно производить таким же образом, что и моделирование дискретных случайных величин по методике [5]. Иллюстрация сути моделирования частоты отказов приведена на рис. 2, где за вероятности p_i приняты соответствующие частоты h_i .

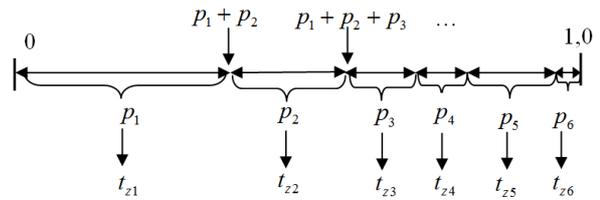


Рис. 2. Графическая иллюстрация моделирования частоты отказов и времени простоя

Алгоритм моделирования применительно к данным, приведённым в качестве примера в табл. 1, представлен ниже.

Вызывается случайное число x с равномерным законом распределения на отрезке $[0, 1]$.

Если случайное число оказалось в промежутке $0 \leq x < p_1$ (в примере $0 \leq x < 0,429$), то время простоя по целевому функционированию принимается равным t_{z1} (0,15 часа).

Если $p_1 \leq x < (p_1 + p_2)$ (в примере $0,429 \leq x < 0,662$), то время простоя - t_{z2} (1,5 часа);

Если $(p_1 + p_2) \leq x < (p_1 + p_2 + p_3)$ ($0,662 \leq x < 0,797$), то принимается t_{z3} (4,14 часа).

Если $(p_1 + p_2 + p_3) \leq x < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4)$ ($0,797 \leq x < 0,812$), то t_{z4} (3,2 часа).

Если $(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) \leq x < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5) = 1$ ($0,812 \leq x < 1,000$), то время простоя принимается равным t_{z5} (6 часов).

Если $(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5) \leq x < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) = 1$ ($0,980 \leq x < 1,000$), то время простоя принимается равным t_{z6} (30 часов).

Моделирование влияния отказов бортовых систем на отказы КА. Из-за сложности бортового состава КА не всегда удаётся методами последовательно-параллельного соединения элементов оценить влияние отказов на показатели надёжности КА. Например, невозможно построить структурную схему надёжности для силового гироскопического комплек-

са, переключающегося в случае отказа одного из силовых гиросприборов по сложной логике. Поэтому в данной работе использован метод исследования надёжности структурно-сложных систем [5]. Инструментом моделирования в этом методе являются логико-вероятностные функции отказа (или сохранения работоспособного состояния) анализируемых систем. Для облегчения построения логико-вероятностных функций сложных систем предварительно строят так называемые деревья отказов [5]. Отметим, что построение деревьев отказов производится

на основе анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО).

В качестве примера на рис. 3 приведено упрощённое дерево отказов типового КА наблюдения, в котором учитываются бортовые системы и некоторые элементы, влияющие на показатели производительности КА. Треугольниками со значками плюс обозначены графические символы, соответствующие логическому сложению (дизъюнкции), со значками умножения (точки) – логическому умножению (конъюнкции).

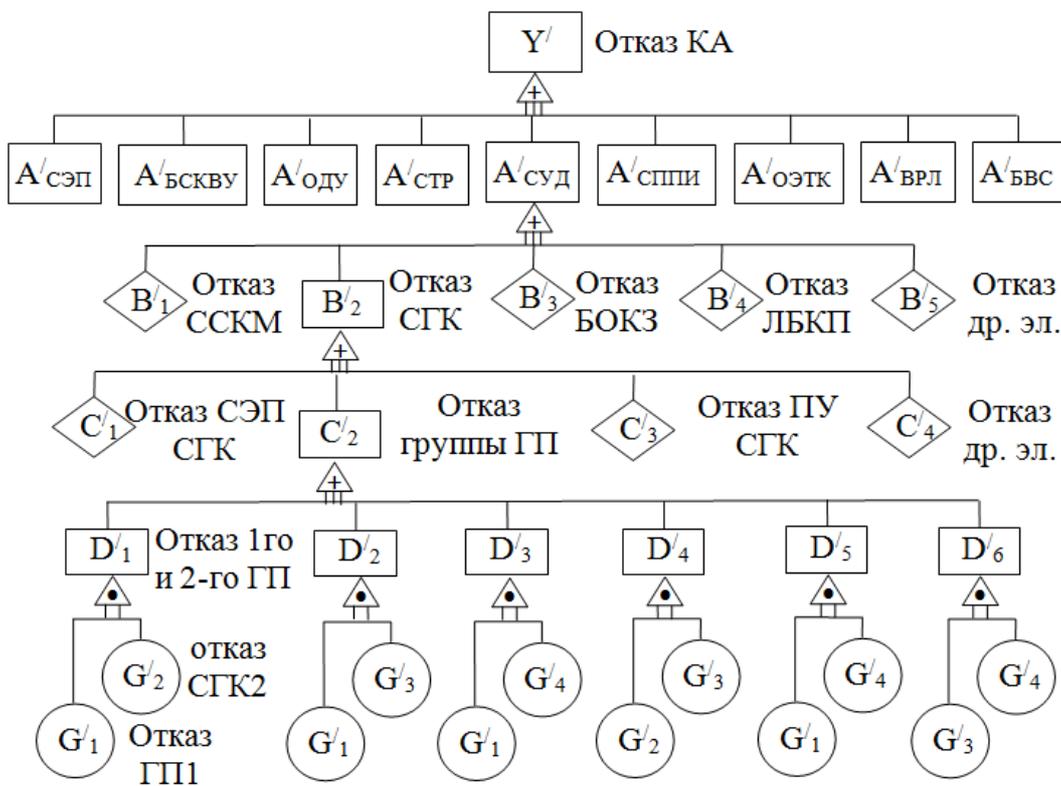


Рис. 3. Дерево отказов КА ДЗЗ

На этом рисунке литерами *A* со штрихами и индексами обозначены события отказов следующих бортовых систем КА: электропитания (СЭП), управления движением (СУД), объединённой двигательной установки (ОДУ), терморегулирования (СТР), бортового синхронизирующего устройства (БСКВУ), приёма и преобразования информации (СППИ), оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК), высокоскоростной ра-

диолинии (ВРЛ), бортовой вычислительной системы (БВС).

В этом дереве детализированы не все связи элементов и систем по отказам. Подробнее развёрнута лишь ветвь по отказам СУД, соответствующая событию $A_{СУД}$. В этой ветви представлены события отказов некоторых систем, входящих в систему СУД и обозначенных литерами *B* с индексами от единицы до пяти: сброса кинетического момента (СККМ), силового

гироскопического комплекса (СГК), блока определения координат звёзд (БОКЗ), лазерного бесплатформенного командного прибора (ЛБКП) и других элементов (событие B_5). Ниже в дереве отказов развёрнута только ветвь, касающаяся отказов силового гироскопического комплекса (событие C_2'), предназначенного для перенацеливания КА. При построении этой ветви было учтено, что СГК имеет четыре силовых гироскопа (ГП), а безотказная работа СГК обеспечивается безотказной работой любых трёх гироскопов. Кроме этого в состав СГК входят: система энергоснабжения (СЭП) СГК, приборы управления (ПУ) СГК и другие подсистемы, которые в данном анализе не рассматриваются. Эти события обозначены C_1' , C_3' и C_4' . Далее в дереве подробнее развёрнуты события, касающиеся лишь отказов групп гироскопов (события D_1', \dots, D_6' , которые соответствуют отказу любой пары ГП). События G_1', G_2', G_3', G_4' соответствуют отказам первого, второго и т. д. силовых ГП соответственно.

На основе дерева отказов нетрудно составить логическую функцию отказа КА:

$$Y'_{КА} = A'_{СЭП} \vee A'_{БСКВУ} \vee A'_{ОДУ} \vee A'_{СТР} \vee B'_1 \vee C'_1 \vee G'_1 G'_2 \vee G'_1 G'_3 \vee G'_1 G'_4 \vee G'_2 G'_3 \vee G'_2 G'_4 \vee G'_3 G'_4 \vee C'_3 \vee C'_4 \vee B'_3 \vee B'_4 \vee A'_{СПИ} \vee A'_{ОЭТК} \vee A'_{ВРЛ} \vee A'_{БВС}. \quad (3)$$

Если функцию такого рода построить с учётом всех ветвей и элементов, входящих в КА, то с помощью неё можно оценивать работоспособность КА в зависимости от отказа тех или иных элементов.

Нормирование показателей надёжности бортовых систем по заданному показателю надёжности КА. Моделирование целевого функционирования производится при определённом значении показателя надёжности КА. Этот показатель при достижении заданного количе-

ства циклов статистических испытаний должен меняться с целью получения функциональной зависимости влияния надёжности на показатели производительности КА. Причём при каждом новом уровне значений показателя надёжности КА показатели надёжности бортовых систем должны соответствовать этому уровню. А именно, быть такими, чтобы с учётом взаимосвязей, выраженных с помощью дерева отказов и логических функций, обеспечивать именно требуемый для моделирования уровень показателя надёжности КА. С этой целью используется метод нормирования надёжности бортовых систем КА в зависимости от надёжности КА в целом. В данной работе использован метод нормирования с помощью весовых коэффициентов [5]. Этот метод основан на пропорциональном изменении вероятностей отказов бортовых систем проектируемого КА относительно аналогов (прототипов) КА, для которых известны статистические характеристики отказов. Алгоритм нормирования следующий.

1. Ввод показателей надёжности проектируемого КА и прототипа.

2. Ввод показателей надёжности бортовых систем (БС) P_i прототипа (по статистике).

3. Расчёт показателей надёжности БС с помощью метода весовых коэффициентов [5].

4. Определение показателей надёжности составных частей БС (при необходимости).

5. При необходимости производятся итерационные расчёты для обеспечения заданной точности нормирования.

Алгоритм имитационного моделирования. Алгоритм для оценки влияния частичных отказов бортовых систем и времени простоя функционирования на производительность КА представлен ниже. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 4.

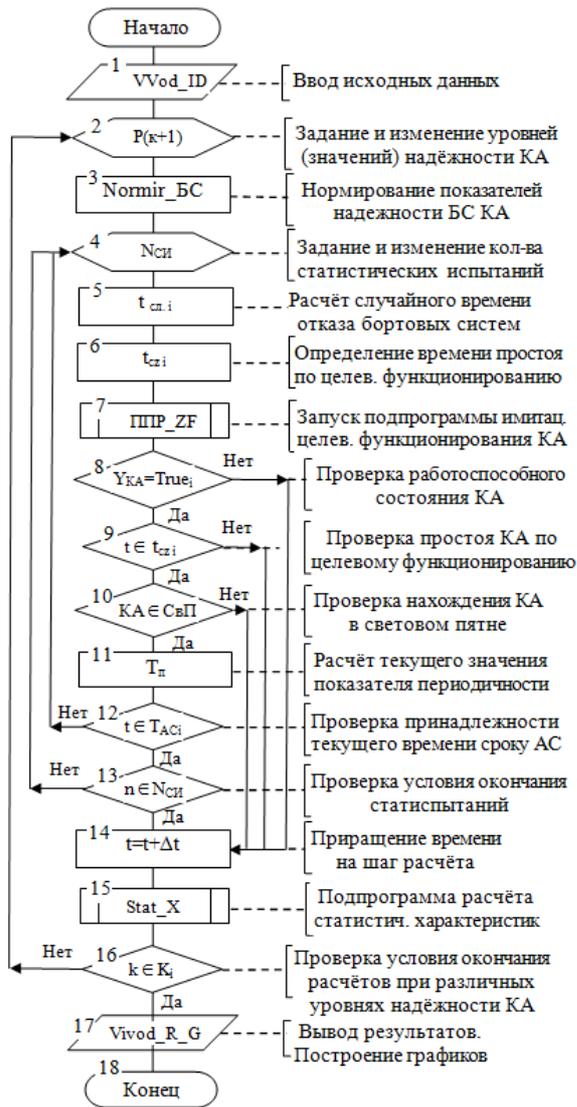


Рис. 4. Блок-схема алгоритма имитационного моделирования

1. Ввод исходных данных для имитации целевого функционирования КА (параметров орбит, среднего времени перенацеливания, срока активного существования, параметров надёжности БС прототипа КА, количества расчётных точек показателей надёжности и др.)

2. Задание и изменение значений надёжности КА, например, 0,5; 0,7; 0,8; 0,85, 0,9, 0,95 и 1,0.

3. Нормирование показателей надёжности БС для заданных значений надёжности КА.

4. Задание и изменение числа статистических испытаний при конкретном значении показателя надёжности КА.

5. Расчёт времени отказов элементов всех бортовых систем КА (по очереди).

6. Расчёт времени простоя КА по целевому функционированию.

Расчёты в блоках 5 и 6 осуществляются по методике, изложенной ранее.

7. Запуск подпрограммы имитации полёта и целевого функционирования КА.

8. Проверка работоспособности КА с использованием логико-вероятностных функций.

Если событие $Y_{КА}^i$, посчитанное по формуле (3), принимает значение «Истина» (True), то КА считается работоспособным. В противном случае событие $Y_{КА}^i$ принимает значение «Ложь» (False), КА считается неработоспособным и осуществляется переход к пункту 14.

9. Проверка условия попадания текущего времени полёта КА в интервал между случайным временем отказа и суммой случайного времени отказа и времени простоя КА каждой бортовой системы (проверка состояния простоя):

$$t_{сл.i} \leq t < (t_{сл.i} + t_{з.i}). \quad (4)$$

Если это условие выполняется, то логической переменной A_i^j , характеризующей работоспособность или неработоспособность рассматриваемой i -й БС, присваивается значение «Ложь», в противном случае «Истина». Условие (4) проверяется для всех бортовых систем.

Если условие не выполняется (для всех БС), то осуществляется переход к пункту 14.

10. Проверка условия нахождения КА в световом пятне (области поверхности Земли, ограниченной линией с заданным углом Солнца над горизонтом). Если условие не выполняется, то осуществляется переход к пункту 14.

11. Расчёт текущего значения показателя периодичности и запись в массив для последующей статистической обработки.

12. Осуществляется сравнение текущего времени имитации полёта со зна-

чением срока активного существования (АС) $t = T_{AC}$.

Если это условие выполняется, то осуществляется переход к пункту 4.

13. Проверка условия равенства количества проведённых статистических испытаний заданному количеству. Если это условие не выполняется, то осуществляется переход к пункту 4.

14. Осуществляется приращение времени имитации на шаг расчёта $t = t + \Delta t$.

15. Расчёт статистических характеристик (математического ожидания, дисперсии, доверительных границ, показателя периодичности заданного уровня надёжности КА), а также параметров функции распределения и плотности распределения показателя периодичности.

16. Проверка условия равенства числа расчётных точек, соответствующих уровням надёжности КА, заданному. Если это условие не выполняется, то осуществляется переход к п. 7.

17. Статистическая обработка и вывод результатов расчёта.

18. Остановка программы.

Программное обеспечение. На основе представленного алгоритма разработано программное обеспечение, с помощью которого можно на этапе проектирования прогнозировать показатели периодичности наблюдения с учётом отказов бортовых систем и перерывов в работе элементов до восстановления работоспособного состояния. В качестве базового использовано программное обеспечение для моделирования орбитального полёта КА и оценки целевых показателей эффективности [4]. Доработка программного кода связана с введением процедуры исходных данных по показателям надёжности и расчётом случайного времени отказов бортовых систем и времени простоя КА с учётом частичных отказов БС. Программа реализована в среде программирования Delphi 7, операционная система Windows. Перед запуском программы вводятся исходные данные для оценки показателей периодичности наблюдения с

учётом выбранных условий функционирования КА ДЗЗ.

С помощью разработанного программного обеспечения можно также рассчитывать исходные данные для нормирования показателя надёжности КА, исходя из допустимого уровня потери по показателям периодичности КА.

Результаты моделирования. Моделирование проводилось при следующих параметрах солнечно-синхронных орбит: орбита высотой 475 км и наклоном 97,0 градусов, долгота восходящего узла 0 градусов, угол Солнца над горизонтом, выше которого возможна съёмка 30 градусов, угол отклонения оптической оси КА от надира до 45 градусов, широта единичного объекта наблюдения 50 градусов, долгота 70. Расчётный срок активного существования КА три года.

Результаты расчётов с использованием разработанного программного обеспечения представлены в табл. 2, где $P_{КА}$ – показатель надёжности КА; $N_{ст}$ – количество статистических испытаний; $m_{пер}$ – математическое ожидание периодичности; P_H и P_B – нижняя и верхняя границы доверительной вероятности соответственно; Δ – потеря периодичности, выраженная в процентах. Теоретическое значение периодичности при абсолютной надёжности КА равно 34,4 часа. Доверительные границы оценивались с доверительной вероятностью $g = 0,90$.

Таблица 2. Результаты моделирования периодичности съёмки

$P_{КА}$	$N_{ст}$	$m_{пер}$	P_H	P_B	$\Delta, \%$
0,500	18	77,94	71,4	84,5	55,99
0,700	23	62,82	55,9	69,8	45,4
0,800	14	47,44	44,74	50,14	27,72
0,850	10	46,9	42,82	50,98	26,87
0,900	10	42,77	39,63	45,9	19,8
0,950	10	38,54	35,7	41,4	11,00
1,000	10	34,3	31,3	37,3	0

На рис. 5 представлена зависимость периодичности наблюдения съёмки от уровня надёжности КА. Сплошной линией представлена сглаженная кривая математического ожидания периодичности. Штрихпунктирными линиями с одной точкой между штрихами представлены границы доверительных интервалов. Аппроксимация линейной зависимостью (линия тренда) представлена пунктирной линией, уравнение которой представлено на поле рисунка. Горизонтальная штрихпунктирная линия с двумя точками между штрихами соответствует периодичности наблюдения при надёжности КА, равной единице. Эта линия представлена для сравнения данных.

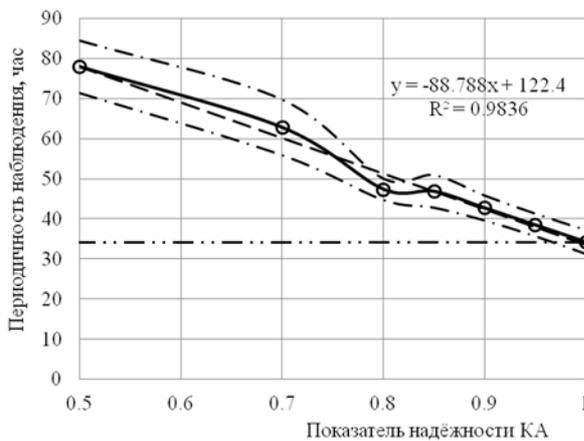


Рис. 5. Зависимость периодичности съёмки от уровня надёжности КА ДЗЗ

Верификация моделей и анализ результатов. Полученные результаты сравнивались с некоторыми целевыми характеристиками существующих КА ДЗЗ [6]. В частности, было показано, что показатели периодичности, рассчитанные с помощью данного программного обеспечения, примерно соответствуют показателям КА, разработанным в ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» для соответствующих параметров орбит и уровней надёжности.

Непротиворечивость моделей доказывается тем, что ожидаемое увеличение периодичности съёмки КА при снижении показателя надёжности в целом подтверждается.

Негладкий характер («всплеск») кривой периодичности в районе показателя надёжности 0,8 можно объяснить следующими обстоятельствами.

Во-первых, мало количество статистических испытаний. Заметим, что это количество является критичным, так как имитация одного цикла, соответствующего сроку активного существования КА (три года) при учёте многочисленных факторов на современных высокопроизводительных персональных ЭВМ, достигает нескольких часов. При возрастании количества статистических испытаний и увеличении количества расчётных уровней показателя надёжности КА кривая $E(P)$, возможно, будет более гладкой.

Во-вторых, не исключено, что по своей природе кривая $E(P)$ близка к форме кривой $E_2(P)$ на рис. 1, то есть соответствует нормальному, а не экспоненциальному закону распределения. Такое предположение не противоречит одной из центральных предельных теорем теории вероятностей, в которой говорится о том, что если на объект воздействует множество случайных величин с произвольными законами распределения и среди них нет преобладающих, то результирующий закон стремится к нормальному. Однако использование экспоненциальных законов распределения отказов бортовых систем формально приводит к экспоненциальному закону распределения отказов КА. В этих подходах усматривается некоторое противоречие. Не исключено, что функция распределения периодичности имеет некую композицию указанных законов.

Выяснение упомянутых обстоятельств, а также составление более подробного дерева отказов требует дополнительных исследований, возможно, с привлечением суперкомпьютера для увеличения скорости счёта и точности вычислений за счёт проведения большего количества статистических испытаний.

Выводы

1. Разработаны модели, алгоритм и программное обеспечение для имитационного моделирования влияния частичных отказов целевой аппаратуры и бортовых систем КА ДЗЗ на периодичность съёмки. Программное обеспечение позволяет рассчитывать показатели периодичности в зависимости от уровня надёжности бортовых систем КА с построением функций распределения и плотности распределения при широком диапазоне изменения исходных данных по параметрам орбит, целевой аппаратуры, географической широте расположения ОН, по циклограммам целевого функционирования и др.

2. С помощью данного программного обеспечения можно прогнозировать периодичность съёмки уже на ранних этапах проектирования КА и получать исходные данные для нормирования показателей надёжности КА, исходя из оценки допустимых потерь периодичности.

Библиографический список

1. Ханцеверов, Ф. Р. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли [Текст] / Ф. Р. Ханцеверов, В. В. Остроухов. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

2. Лебедев, А. А. Космические системы наблюдения [Текст] / А. А. Лебедев, О. П. Нестеренко. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.

3. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление [Текст] / В.В. Малышев, М.Н. Красильщиков, О.П. Нестеренко [и др.]; под ред. В. В. Малышева. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 568 с.

4. Куренков, В. И. Основы устройства и моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения [Текст]: учеб. пособие / В.И. Куренков, В.В. Салмин, Б.А. Абрамов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 296 с.

5. Куренков, В.И. Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов [Текст]: учеб. пособие / В.И. Куренков, В.А. Капитонов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 320 с.

6. Кирилин, А.Н. Основные результаты и планы ГНПКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» по созданию космических средств ДЗЗ социально - экономического назначения [Текст] / А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, Г. П. Аншаков // Вопросы электромеханики. – 2008. – Т. 105. – С. 40-48.

INFLUENCE OF THE RELIABILITY OF EARTH REMOTE SENSING SPACECRAFT ONBOARD SYSTEMS ON THE MONITORING OF IMAGING PERIODICITY

© 2013 A. N. Kirilin¹, R. N. Akhmetov¹, V. I. Kurenkov², V. A. Kapitonov¹, N. R. Stratilatov¹, V. V. Lokhmatkin¹

¹Federal State Unitary Enterprise Space Rocket Center “TsSKB-Progress”, Samara

²Samara State Aerospace University

The paper presents a method of assessing the periodicity of Earth remote sensing spacecraft imaging with account of the reliability of on-board systems. The method is based on spacecraft target functioning simulation taking into account onboard system failures.

Spacecraft, Earth remote sensing, monitoring periodicity, onboard system reliability, partial failures, mathematical model, algorithm, simulation software.

Информация об авторах

Кирилин Александр Николаевич, доктор технических наук, генеральный директор, ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование и производство ракет-носителей и космических аппаратов, технология агрегатной сборки сложных систем, технологические процессы штамповки, сварки.

Ахметов Равиль Нургалиевич, доктор технических наук, генеральный конструктор ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование, изготовление и эксплуатация изделий ракетно-космической техники.

Куренков Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kvi.48@mail.ru. Область научных интересов: моделирование целевого функционирования космических аппаратов наблюдения, надежность космических аппаратов.

Капитонов Валерий Алексеевич, доктор технических наук, заместитель генерального конструктора, начальник отделения ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование систем управления и систем измерений ракет-носителей, надежность космических систем.

Стратилатов Николай Ремирович, кандидат технических наук, главный конструктор, начальник проектного отделения, ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Лохматкин Вадим Владимирович, инженер первой категории проектного отдела, ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: lohmatkin.vadim@yandex.ru. Область научных интересов: моделирование целевого функционирования космических аппаратов наблюдения, надежность космических аппаратов наблюдения.

Kirilin Alexander Nikolaevich, Doctor of Sciences (Engineering), General Director, Space Rocket Center «TsSKB Progress». Area of research: design and manufacture of carrier rockets of space vehicles, technology of modular assembling of complex systems, technological processes of punching and welding.

Akmetov Ravil Nurgalievich, Doctor of Sciences (Engineering), General Designer of Space Rocket Center «TsSKB Progress». E-mail: csdb@samtel.ru. Area of research: design, production and operation of carrier rockets and spacecraft.

Kurenkov Vladimir Ivanovich, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Samara State Aerospace University. E-mail: kvi.48@mail.ru. Area of research: modeling target functioning of observation spacecraft, reliability of carrier rockets and spacecraft.

Kapitonov Valeriy Alekseevitch, Doctor of Sciences (Engineering), Senior Lecturer, Deputy Chief Designer, Head of Department, Space Rocket Center «TsSKB Progress». E-mail: csdb@samtel.ru. Area of research: design of control systems and systems of measuring carrier rockets, reliability of spacecraft systems.

Stratilatov Nicholay Remirovich, Candidate of Sciences (Engineering), Chief Designer, Head of the Design Division, Space Rocket Center «TsSKB Progress». E-mail: csdb@samtel.ru. Area of research: design of Earth remote sensing systems.

Lokhmatkin Vadim Vladimirovich, engineer of Design Department, Space Rocket Center “TsSKB Progress”. E-mail: lohmatkin.vadim@yandex.ru. Area of research: modeling target functioning of observation spacecraft, reliability of carrier rockets and spacecraft.