

УДК 629.78 (075)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЪЁМКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С УЧЁТОМ НАДЁЖНОСТИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

© 2013 В.В. Лохматкин, В.И. Куренков

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

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

Поступила в редакцию 29.03.2013

Разработаны математические модели отказов бортовых систем космического аппарата. Используя логико-вероятностные методы исследования работоспособности сложных технических систем и метод имитационного моделирования разработан алгоритм и программное обеспечение для оценки производительности съёмки с учетом показателей надёжности космической системы наблюдения.

Ключевые слова: *космический аппарат наблюдения, производительность, надёжность, отказ, математическая модель, имитационное моделирование*

Актуальность и постановка задачи исследования. В процессе эксплуатации космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) встречаются отказы целевой аппаратуры и бортовых обеспечивающих систем, которые приводят к снижению качества целевых показателей эффективности космической системы мониторинга: периодичности наблюдения, линейного разрешения на местности (детальности), производительности съёмки, оперативности доставки видеoinформации на Землю и др. Показатели эффективности условно можно разделить на две категории. К первой относятся показатели, для которых увеличение численного значения показателя приводит к улучшению качества КА. К таким показателям относятся производительность съёмки, разрешающая способность на местности, ширина полосы обзора, ширина захвата съёмочной аппаратуры, срок активного существования и др. Ко второй категории относятся показатели, для которых увеличение численного значения показателя приводит к ухудшению качества КА. К таким показателям относятся детальность, точность привязки снимков, старение информации, периодичность и оперативность.

Для общности рассуждений такие показатели можно представить в размерности, при которой увеличение численного показателя будет соответствовать улучшению качества КА. Например, вместо детальности можно использовать обратную величину – разрешающую способность на местности, показатель периодичности измерять в частоте проведения съёмок заданного объекта (обратная величина времени между двумя смежными съёмками), показатель оперативности – в частоте передачи видеoinформации на Землю и т.п. В этой связи влияние показателей надёжности КА ДЗЗ на показатели целевой эффективности E можно представить в виде типового графика, как это показано на рис. 1. На этом рисунке: $E_1(P)$, $E_2(P)$ и $E_3(P)$ – возможные формы зависимостей показателей эффективности от показателя надёжности КА; E_0 – значение показателя эффективности при надёжности КА, равной единице; $E_{доп}$ – допустимый уровень показателя эффективности КА, ΔE – допустимые потери эффективности от снижения надёжности КА, $P_{1Н}$, $P_{2Н}$ и $P_{3Н}$ – показатели надёжности, соответствующие допустимому уровню потери эффективности.

Зависимости такого рода, если они получены на ранних этапах проектирования КА ДЗЗ, могут служить, во-первых, для более точного прогнозирования показателей эффективности космической системы в процессе длительного функционирования при снижении надёжности КА, во-вторых, в качестве исходных данных для

Лохматкин Вадим Владимирович, инженер-конструктор. E-mail: lohmatkin.vadim@yandex.ru
Куренков Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры летательных аппаратов. E-mail: kvi.48@mail.ru

нормирования показателей надёжности целевой аппаратуры и бортовых обеспечивающих систем и КА в процессе его создания.

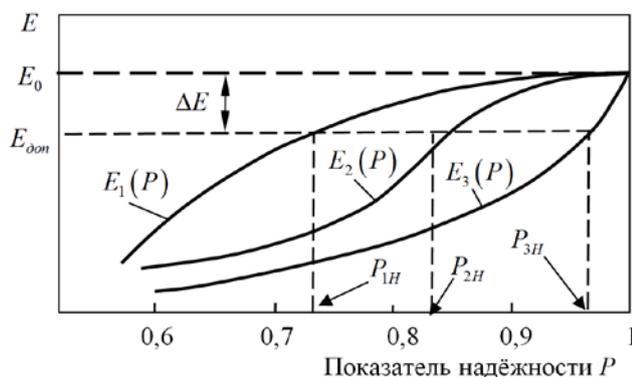


Рис. 1. Влияние показателя надёжности КА на показатели целевой эффективности

Например, показатели $P_{1н}$, $P_{2н}$ и $P_{3н}$ могут быть приняты в качестве ограничений или (при определённых условиях) за нормируемые показатели. 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 целевой эффективности 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 целевой эффективности практически не встречается. Авторы настоящей работы пытаются восполнить этот пробел. В статье рассматриваются не все показатели целевой эффективности, а лишь один – производительность космической съёмки. Размерность такого показателя зависит от вида съёмки земной поверхности: объективное зондирование (отдельно отстоящих объектов), зондирование маршрутов, площадок, а также проведение стереосъёмки. При объективном зондировании система управления движением и, в частности, силовой гироскопический комплекс, предназначенный для перенацеливания КА, как правило, работает в наиболее напряжённом режиме по сравнению со

съёмкой маршрутов и площадей. Поэтому в статье обсуждается один из показателей – производительность при объективной съёмке, измеряемой количеством отснятых объектов наблюдения в единицу времени.

Суть моделирования. Производится имитация орбитального движения КА и его функционирования по целевому назначению. Организуется также имитация 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. В случае работоспособности КА подсчитывается число отснятых объектов наблюдения. Расчёт останавливается 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.

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 [1], а именно: долгота и широта подспутниковой точки КА на поверхности Земли в каждый момент времени имитационного моделирования, появление КА в световом пятне (где КА отрабатывает 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 используется статистические данные по аналогичным элементам. Если имеются данные по интенсивности отказов λ , то моделирование случайного времени отказа элемента производится по формуле [1]

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

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

Если статистических данных по интенсивности отказа нет, то в качестве исходных данных используются вероятность безотказной работы элемента P за какой-либо промежуток времени τ . Расчет интенсивности отказов элемента производится по зависимости, которая является обратной по отношению к экспоненциальному закону:

$$\lambda = \frac{-\ln P}{\tau}. \quad (2)$$

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

Адекватность данной модели проверялась численно путём построением функции плотности распределения и сопоставлением с теоретической функцией. Показано, что при 20 тыс. испытаний статистическая и теоретическая функция распределений практически совпадают. Время простоя по целевой работе бортовой системы (с момента отказа до момента восстановления работоспособности) определяется с учетом статистических данных по эксплуатирующемуся 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	0,188
	$\Sigma=1,000$

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 .

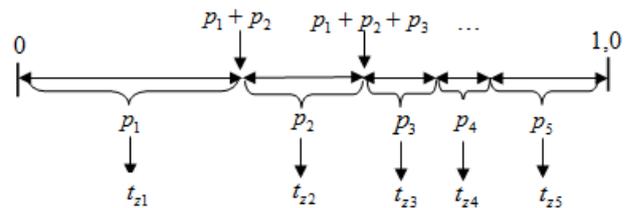


Рис. 2. Графическая иллюстрация моделирования частоты отказов и времени простоя

Алгоритм моделирования применительно к данным, приведённым в качестве примера в табл. 1, представлен ниже. Вызывается случайное число ξ с равномерным законом распределения на отрезке $[0, 1]$. Если случайное число оказалось в промежутке $0 \leq \xi < p_1$ (в примере $0 \leq \xi < 0,429$) то время простоя по целевому функционированию принимается равным t_{z1} (0,15 часа).

Если $p_1 \leq \xi < (p_1+p_2)$ (в примере $0,429 \leq \xi < 0,662$), то время простоя t_{z2} (1,5 часа). Если $(p_1+p_2) \leq \xi < (p_1+p_2+p_3)$ (т.е. $0,662 \leq \xi < 0,797$), то принимается t_{z3} (4,14 часа). Если $(p_1+p_2+p_3) \leq \xi < (p_1+p_2+p_3+p_4)$ (т.е. $0,797 \leq \xi < 0,812$), то t_{z4} (3,2 часа). Если $(p_1+p_2+p_3+p_4) \leq \xi < (p_1+p_2+p_3+p_4+p_5) = 1$, (т.е. $0,812 \leq \xi < 1,0$), то время простоя принимается равным t_{z5} (6 часов).

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

гироскопического комплекса, 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 упрощенное 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 знаками умножения (точки) – логическому умножению (конъюнкции).

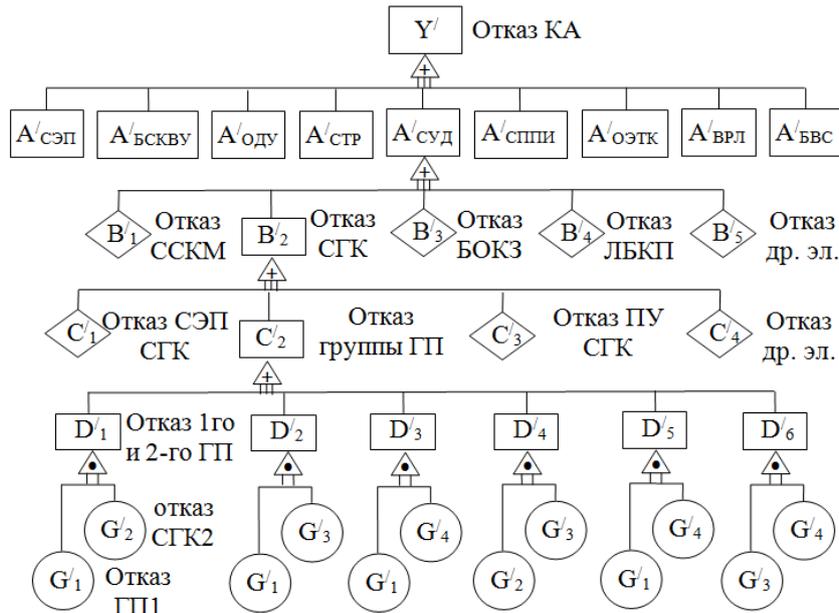


Рис. 3. Дерево отказов КА ДЗЗ

На этом рисунке литерами *A* со штрихами и индексами обозначены события отказов следующих бортовых систем КА: электропитания (СЭП), управления движением (СУД), объединенной двигательной установки (ОДУ), терморегулирования (СТР), бортового синхронизирующего устройства (БСКВУ), приема и преобразования информации (СППИ), оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК), высокоскоростной радиолинии (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 (SGK), 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 ориентации КА. При построении этой ветви было учтено, что SGK имеет четыре силовых гиросприбора (ГП), а безотказная работа SGK обеспечивается безотказной работой любых трёх гиросприборов. Кроме этого в состав SGK входят: система электропитания (СЭП) SGK, приборы управления (ПУ) SGK и др. 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 гиросприборов (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

$$Y'_{КА} = A'_{СЭП} \vee A'_{БСКВУ} \vee A'_{ОДУ} \vee A'_{СТР} \vee$$

$$\begin{aligned} & \vee B_1' \vee C_1' \vee G_1' G_2' \vee G_1' G_3' \vee G_1' G_4' \vee G_2' G_3' \vee \\ & \vee G_2' G_4' \vee G_3' G_4' \vee C_3' \vee C_4' \vee B_3' \vee B_4' \vee \\ & \vee A_{СПИ}' \vee A_{ОЭТК}' \vee A_{ВРЛ}' \vee A_{БВС}' . \end{aligned} \quad (3)$$

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 элемента.

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 количества 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 такими, чтобы с учётом взаимосвязей, выраженных с помощью дерева отказов и логических функций, обеспечивать именно требуемый 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.

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 КА и др.)

2. Задание и изменение значений надёжности КА, например, 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 и 0,95.

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 пунктах 5 и 6 осуществляется по методике, изложенной ранее.

7. Запуск подпрограммы имитации полёта и целевого функционирования КА.

8. Проверка работоспособности КА с использованием логико-вероятностных функций. Если событие $Y_{КА}'$, посчитанное по формуле (3), принимает значение «Истина» (True), то КА считается работоспособным. В противном случае событие $Y_{КА}'$ 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).

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

Если это условие выполняется, то логической переменной A_i' , 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. Включается счётчик отснятых объектов (производится добавление единицы к текущему количеству отснятых объектов). Счётчик срабатывает не на каждом цикле приращения времени имитации полёта КА, а ещё при одном дополнительном условии, а именно, при наступлении

каждого нового цикла перенацеливания. Результаты запоминаются.

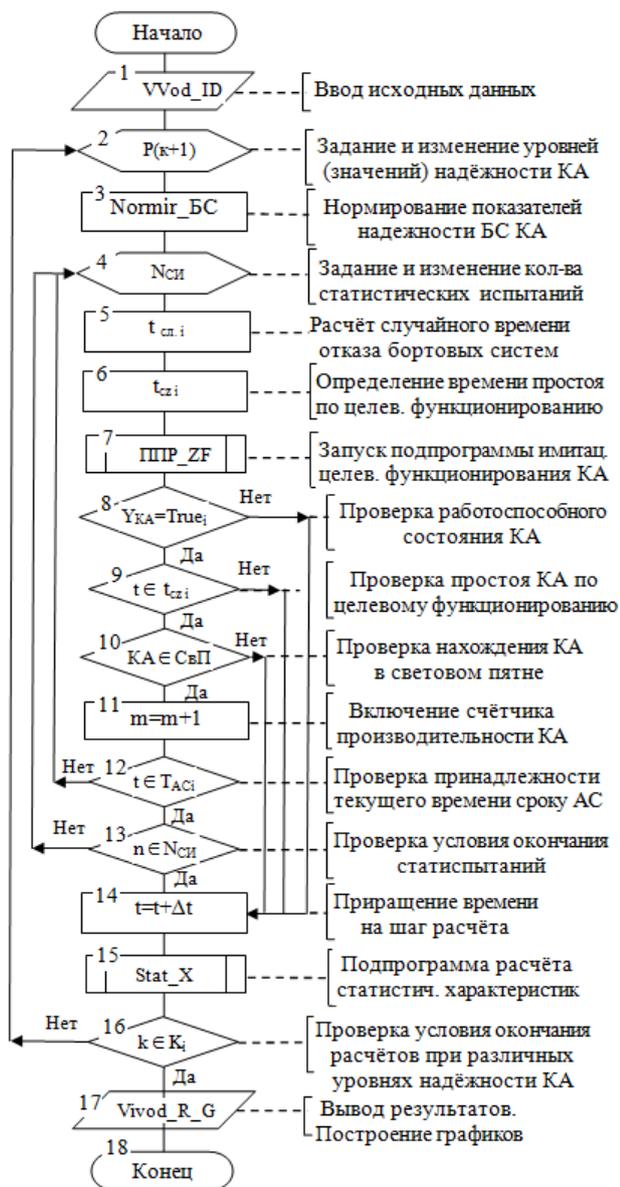


Рис. 4. Блок схема алгоритма имитационного моделирования

12. Осуществляется сравнение текущего времени имитации полёта со значением срока активного существования (АС) $t=T_{AC}$. Если это условие выполняется, то осуществляется переход к пункту 4.

13. Проверка условия равенства количества проведенных статиспытаний 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. Расчет статистических характеристик (математического ожидания, дисперсии, доверительных границ, показателя производительности для заданного уровня надежности КА).

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

17. Вывод результатов расчета.

18. Остановка программы.

Программное обеспечение. На основе представленного алгоритма разработано программное обеспечение, с помощью которого можно на этапе проектирования прогнозировать производительность КА наблюдения с учётом отказов бортовых систем и перерывов в работе элементов до восстановления работоспособного состояния. В качестве базового использовано программное обеспечение для моделирования орбитального полета 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 систем Windows. Перед запуском программы вводятся исходные данные для оценки показателей производительности съёмки с учётом выбранных условий функционирования КА ДЗЗ. С помощью разработанного программного обеспечения можно также рассчитывать исходные данные для нормирования показателя надежности КА исходя из допустимого уровня потери производительности космической системы. Заметим, что нормирование проводится не только по показателю производительности, но и с учётом других показателей целевой эффективности, а также с учётом резервирования, ограничений по массе БС, ресурсов, срока активного существования и др.

Результаты моделирования. Моделирование проводилось при следующих параметрах: орбита круговая с высотой 730 км и наклоном 98,3 градуса, долгота восходящего узла 30 градусов, угол Солнца над горизонтом, выше которого возможна съёмка 30 градусов, время перенацеливания 40 с, угол отклонения оптической оси КА от надира до 45 градусов, расчётный срок активного существования КА 3 года. Результаты расчётов с использованием разработанного программного обеспечения представлены в табл. 2, где P_{KA} – показатель надёжности КА, $N_{ст}$ – количество статистических испытаний, $m_{Др}$ – математическое ожидание производительности, P_n и P_v – нижняя и верхняя границы доверительной вероятности соответственно, Δ – потеря производительности, выраженная в процентах. Теоретическое значение производительности при абсолютной надёжности КА равно

180000 отснятых объектов за расчётный срок активного существования или 180 объектов в сутки. Доверительные границы оценивались с доверительной вероятностью $\gamma=0,90$.

Таб. 2. Результаты моделирования производительности КА ДЗЗ

$P_{КА}$	$N_{см}$	$m_{пр}$	P_H	P_B	$\Delta, \%$
0,500	31	92422	78750	105300	48,7
0,700	32	100890	88012	113868	44,0
0,800	39	113054	100076	126526	37,2
0,850	36	128215	114743	138296	28,8
0,900	26	153834	143753	160964	14,5
0,950	26	157000	149870	163418	12,8
1,000	26	180000	173582	180000	0

На рис. 5 представлена зависимость производительности съёмки от уровня показателей надёжности КА. Точки на графике соответствуют математическим ожиданиям показателей производительности, а вертикальными отрезками – доверительные интервалы, соответствующие 90 процентной доверительной вероятности. Сплошная кривая на графике соответствует сглаженным результатам, а пунктирная – аппроксимации степенной зависимостью (линия тренда), уравнение которой представлено на поле рисунка. Горизонтальная пунктирная прямая линия соответствует значению производительности без учёта влияния отказов.

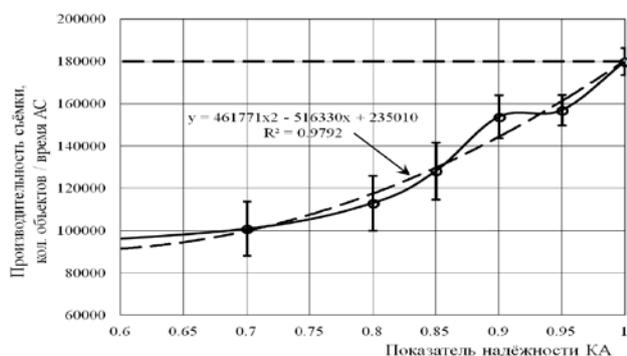


Рис. 5. Зависимость производительности съёмки от уровня надёжности КА ДЗЗ

Верификация моделей и анализ результатов. Производительность при моделировании задавалась равной 180 объектов в сутки, что соответствует максимальной производительности КА ДЗЗ «Ресурс ДК» [6]. Пересчитанное значение показателя производительности КА за срок активного существования КА, равным 3 года при абсолютной надёжности КА составляет 180000 отснятых объектов, что совпадает с данными моделирования. Ожидаемое уменьшение производительности КА вследствие снижения

показателя надёжности КА в целом подтверждается, причём в области высокой надёжности КА наблюдаются более резкое снижение производительности с уменьшением надёжности КА (см. пунктирную кривую). «Всплеск» (неустойчивое поведение) кривой $E(P)$ в области показателя надёжности 0,9 можно объяснить двумя обстоятельствами. Во-первых, мало количество статистических испытаний. Заметим, что это количество является критичным, так как имитация одного цикла, соответствующего сроку активного существования КА (3 года) на современных высокопроизводительных персональных ЭВМ достигает нескольких часов. При возрастании количества статиспытаний и увеличении количества расчётных уровней показателя надёжности КА кривая $E(P)$ возможно будет более гладкой и вогнутой. Во-вторых, не исключено, что по своей природе кривая $E(P)$ близка к форме кривой $E_2(P)$ на рис. 1. Выяснение этих обстоятельств требует дополнительных исследований.

Выводы: разработаны модели, алгоритм и программное обеспечение для имитационного моделирования влияния частичных отказов целевой бортовых систем КА ДЗЗ на производительность, выраженную количеством отснятых объектов наблюдения за срок активного существования. С помощью данного программного обеспечения можно более точно прогнозировать показатели производительности съёмки на этапе проектирования КА и оценивать допустимые потери выходного эффекта при отказах КА. Зависимости показателей производительности от показателей надёжности могут служить в качестве исходных данных для нормирования надёжности КА ДЗЗ на ранних этапах проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ханцеверов, Ф.Р. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли / Ф.Р. Ханцеверов, В.В. Остроухов. – М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
2. Лебедев, А.А. Космические системы наблюдения / А.А. Лебедев, О.П. Нестеренко. – М.: Машиностроение, 1991. 224 с.
3. Мальшев, В.В. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление / В.В. Мальшев, М.Н. Красильщиков, О.П. Нестеренко и др. – М.: Изд-во МАИ, 2000. 568 с.
4. Куренков, В.И. Основы устройства и моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения: учеб. пособие / В.И. Куренков, В.В. Салмин, Б.А. Абрамов. – Самара: Изд-во Самар-го. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. 296 с.
5. Куренков, В.И. Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов: учебн. пособие / В.И. Куренков, В.А. Капитонов. – Самара: Изд-во Самар-го. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 320 с.

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

FORECASTING THE SHOOTING PRODUCTIVITY OF DISTANT EARTH SOUNDING SPACECRAFTS TAKING INTO ACCOUNT THE ONBOARD SYSTEMS RELIABILITY

© 2013 V.V. Likhmatkin, V.I. Kurenkov

¹ State Research Production Space-Rocketed Center “TsSKB – Progress”, Samara

² Samara State Aerospace University named after acad. S.P. Korolyov
(National Research University)

Mathematical models of refusals the spacecraft onboard systems are developed. Using logic-probability research methods of research the serviceability of complex technical systems and method of simulation modeling the algorithm and the software for estimation the shooting productivity taking into account indexes of reliability of space system observation is developed.

Key words: *observational spacecraft, productivity, reliability, refusal, mathematical model, simulation modeling*

Vadim Likhmatkin, Engineer-Designer. E-mail:
lohmatkin.vadim@yandex.ru

Vladimir Kurenkov, Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Aircraft Department. E-mail:
kvi.48@mail.ru