

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ОТКАЗОВ ТИПОВОГО НАНОСПУТНИКА**

А. М. ЕГОРОВ

*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева,  
(национальный исследовательский университет)  
448086, Самара, Россия,  
E-mail: eandrm07@mail.ru*

Разнообразие схем построения наноспутников затрудняет их сравнение на основе отдельных параметров. Описан типовой наноспутник как аппарат, обладающий минимально необходимым набором аппаратных средств. Рассмотрены общая концепция построения, структура и состав бортовой системы наноспутника, решающего ряд типовых задач. Предложен подход к анализу возможных отказов с помощью дерева отказов, построенного на основе подзадач целевой функции борта.

**Ключевые слова:** *типовой наноспутник, бортовая система, целевая функция, элементы борта, анализ отказов*

**Введение.** Университеты мира широко применяют в космических экспериментах наноспутники (НС) стандарта CubeSat. Аппараты характеризуются малой массой (до 3 кг) и малыми размерами (от одного до трех кубических блоков с гранью 10 см). Такие аппараты могут выводиться на орбиту в добавление к основной полезной нагрузке.

Рост потребности в разработке НС ведет к появлению на рынке коммерческих комплектующих, которые представляют собой отдельные готовые модули НС. Такие модули соединяются между собой, позволяя дополнительно сократить сроки разработки НС.

Существующие проекты НС свидетельствуют о значительном разнообразии внешнего облика и внутренней организации борта [1—8]. Однако в ряде случаев необходимо сравнить различные НС между собой, например, при количественной оценке живучести [9, 10].

В связи с этим актуальна задача описания простого „типового наноспутника“, который можно рассматривать в качестве базы для построения более сложных НС. Решение задачи облегчает ограниченный ассортимент коммерческих комплектующих, а также наличие базовых подходов к проектированию борта.

В настоящей работе рассматривается общая концепция построения типового НС: его структура, функции и возможные отказы.

**Концепция построения типового наноспутника.** В общем случае НС представляет собой сложную многоуровневую систему. Это по сути практически реализуемый простейший космический аппарат нанокласса, который обладает минимальным набором аппаратных средств. Типовой НС может быть использован в качестве основы для построения более сложных бортовых систем. При этом достигается определенная степень унификации, позволяющая сравнивать различные НС между собой.

При выполнении целевой функции НС должен решать ряд классических подзадач:

- 1) обеспечивать работу научной аппаратуры (НА);
- 2) передавать информацию на наземный пункт управления;
- 3) принимать команды наземного пункта управления;
- 4) осуществлять сбор и хранение информации от бортовых измерительных средств;
- 5) определять и корректировать местоположение НС в пространстве и относительно центра масс.

Проанализировав существующие разработки, можно выделить НС двух типов: осуществляющие ориентированный и неориентированный полет. Ориентированный полет используется, как правило, в задачах дистанционного зондирования Земли, видеосъемки или для точного позиционирования антенн радиосвязи.

В зависимости от типа полета различается и конструкция НС. При ориентированном полете борт дополнительно оснащается устройствами стабилизации, в основном магнитными катушками. При неориентированном полете конструкция может быть упрощена, решение задачи 5 предполагает получение информации об ориентации (если это необходимо) и орбитальном положении. Средства стабилизации ориентации относительно центра масс на НС не устанавливаются.

Задачи решаются НС посредством обеспечивающих и целевых подсистем аппаратных средств (рис. 1).

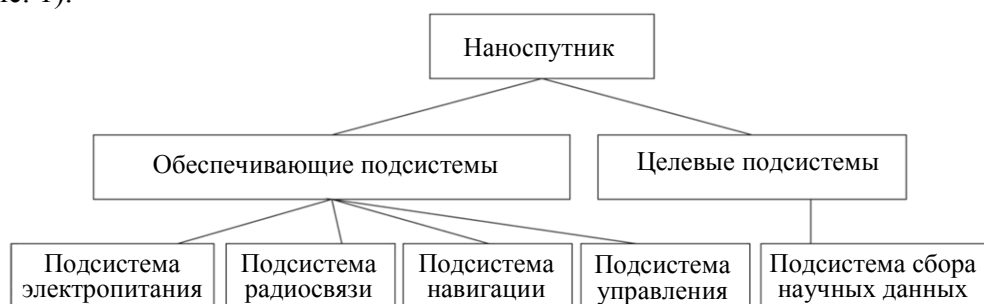


Рис. 1

Целевые подсистемы непосредственно выполняют возложенную задачу, обеспечивающие поддерживают условия для работы целевой аппаратуры.

Обеспечивающие подсистемы проектируются таким образом, чтобы сделать возможной точную привязку результатов научных измерений к пространству и времени. Для этого в составе подсистемы навигации и управления используют навигационный приемник со специальным алгоритмом определения положения космического аппарата в пространстве по набору данных от измерительных средств (магнитометр, акселерометр, гироскоп, датчик освещенности и др.). Временная привязка требует наличия модуля отсчета времени в составе бортового компьютера (БК) с возможностью выдачи меток времени по запросу. Так как БК задействован для решения каждой из задач, часто на НС выполняется его полное или частичное резервирование.

Для возможности обработки и хранения результатов измерений в состав бортовой системы навигации и управления включают запоминающее устройство, а также высокопроизводительный микропроцессор.

Для передачи данных телеметрических измерений и результатов научных экспериментов по радиоканалу приемник и передатчик должны поддерживать достаточную скорость обмена. При необходимости передаваемые данные дополнительно сжимаются по специальному алгоритму. Приемные и передающие антенны, как правило, дублируются и размещаются на противоположных гранях НС для возможности информационного обмена при любой ориентации НС. Из-за ограничений габаритов на этапе вывода НС на орбиту антенны изначально могут находиться в сложенном состоянии и раскрываться после подачи питания на бортовую систему управления.

Для непрерывного функционирования НС в подсистеме электропитания размещается аккумуляторная батарея, которая может подзаряжаться от солнечных панелей. Для определения момента вывода на орбиту НС оснащается контактом отделения (КО), который дублируется.

Для выработки напряжений питания различного уровня используются конверторы. Для соблюдения энергобаланса и возможности отключения части потребителей питание на отдельные модули НС подается по специальным управляемым каналам. Это также позволяет отключить неисправный модуль НС в нештатной ситуации.

Коммерческие комплектующие НС могут оснащаться стандартным 104-контактным интерфейсом, в котором содержатся линии питания и информационного обмена. Такие компоненты могут соединяться в произвольном порядке, что обеспечивает возможность варьирования положением центра масс НС.

С учетом описанных критериев и особенностей аппаратной реализации НС можно составить структурную схему типового НС, совершающего ориентированный полет (рис. 2). Для НС, выполняющего неориентированный полет, из схемы следует исключить управляющие элементы.



Рис. 2

**Анализ возможных отказов.** При анализе возможных нештатных ситуаций на борту НС следует оценивать способность системы решать отдельные задачи. Поэтому для каждой из предложенных задач целесообразно определить критерии  $J_1, J_2, \dots, J_5$  способности НС решать данную задачу.

$J_1$ : подано электропитание на НА, НА исправна, работает БК, который принимает результаты работы НА.

$J_2$ : исправны и запитаны БК и передатчик, передающая антенна.

$J_3$ : исправны и запитаны БК и приемник, приемная антенна.

$J_4$ : исправны и запитаны БК, измерительные средства, элементы памяти.

$J_5$ : исправны и запитаны БК, элементы памяти, измерительные средства, устройства стабилизации.

Из описания критериев видно, что для решения одной подзадачи задействуются элементы нескольких подсистем, так же как и одна подсистема участвует в решении нескольких подзадач.

Анализ отказов, а также их последствий удобно производить с помощью дерева возможных отказов (рис. 3).



При разработке более сложных систем на базе типового НС приведенное дерево отказов может дополняться в зависимости от состава аппаратных средств.

**Заключение.** Предложенный вариант типового НС отражает общие принципы построения космических аппаратов нанокласса. Типовой НС может быть использован в качестве платформы для построения более сложных бортовых систем, что позволяет сократить время проектирования.

Используя описанную структуру типового НС, решающего ряд классических задач, возможно сравнивать параметры различных НС.

Для повышения живучести НС следует руководствоваться представленным деревом возможных отказов, а также разработать программное обеспечение, способное обнаружить отказы отдельных элементов по их характерным признакам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биндель Д. и др.* Наноспутник GRESAT. Общее описание // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2009. № 21. 35 с.
2. *Каргу Д. Л., Фатеев В. Ф.* Практический опыт разработки элементов бортовых радиотехнических систем наноспутника серии Cubesat // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 6. С. 53—55.
3. *Рассамакин Б. М., Хайрнатов С. М., Хоминич В. И., Буденный А. В., Коваленко Е. Ю., Елисеева Е. Н.* Термовакuumные испытания системы электроснабжения наноспутника НТУУ „КПИ“ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2011. № 5. С. 6—10.
4. *Попов В. В.* Успех не местного значения. Чему научит самарский опыт создания наноспутников? // Российский космос. 2014. № 2(98). С. 21—25.
5. *Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В.* Байпасность как атрибут живучести автоматических космических аппаратов в аномальных полетных ситуациях // Вестн. Самарского государственного аэрокосмического университета. 2015. № 4. С. 17—37. DOI: 10.18287/2412-7329-2015-14-4-17-37.
6. *Кирилин А. Н., Ахметов Р. Н., Соллогуб А. В., Макаров В. П.* Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии. М.: Машиностроение, 2010. 384 с.
7. *Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В.* Проблемы реинжиниринга автоматических космических аппаратов в аномальных полетных ситуациях и пути их решения на основе базы знаний // Вестн. Самарского государственного аэрокосмического университета. 2014. № 1(43). С. 9—21.
8. *Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В.* Проблемы обеспечения сбоеотказоустойчивости бортовой аппаратуры КА дистанционного зондирования Земли от воздействия излучений космического пространства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 11. С. 72—78.
9. *Клепиков В. И.* Обеспечение отказоустойчивости вычислений в распределенных системах управления // Автоматизация в промышленности. М.: ИнфоАвтоматизация, 2011. С. 50—56.
10. *Додонов А. Г., Ландэ Д. В.* Живучесть информационных систем. Киев: Наукова думка, 2011. 256 с.
11. SSAU Nanosatellite Project for the Navigation and Control Technologies Demonstration // Procedia Engineering. 2015. Vol. 104. P. 97—106.

#### Сведения об авторе

*Андрей Михайлович Егоров* — аспирант; СГАУ, межвузовская кафедра космических исследований;  
E-mail: eandrm07@mail.ru

Рекомендована межвузовской  
кафедрой космических исследований

Поступила в редакцию  
14.11.2015 г.

**Ссылка для цитирования:** *Егоров А. М.* Анализ возможных отказов типового наноспутника // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 6. С. 471—476.

**ANALYSIS OF POSSIBLE FAILURES OF STANDARD NANOSATELLITE****A. M. Egorov***Samara State Aerospace University, 448086, Samara, Russia,  
E-mail: eandrm07@mail.ru*

The variety of nanosatellites design schematics makes it difficult to compare them on the basis of separate parameters. In the proposed approach, a typical nanosatellite is described as the apparatus having the minimum required hardware set. General concept, structure, and composition of onboard system of a nanosatellite intended to solve a number of typical tasks are considered. An approach to the analysis of possible failures is proposed; the analysis uses the fault tree constructed on the base of the sub-problems of the spacecraft objective function.

**Keywords:** standard nanosatellite, onboard system, objective function, onboard system elements, failures analysis

**Data on author**

**Andrey M. Egorov** — Post-graduate Student; SSAU, Department of Space Exploration;  
E-mail: eandrm07@mail.ru

**For citation:** Egorov A. M. Analysis of possible failures of standard nanosatellite // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 6. P. 471—476 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-6-471-476