

### **АНАЛИЗ ПУТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ НАНОСПУТНИКА**

Развитие космической отрасли связано, в частности, с разработкой и запуском наноспутников. Наибольшее распространение получил стандарт CubeSat, согласно которому наноспутник представляет собой параллелепипед из одного, двух или трёх кубиков с гранью 10 см. Благодаря малым массогабаритным характеристикам наноспутники могут быть выведены на орбиту попутным способом, что определяет экономичность запуска.

Несмотря на относительную дешевизну запуска наноспутников и малое время их активного существования на орбите, важна надёжность и эффективность выполнения целевой функции. Эффективность выполнения наноспутником целевой функции тесно связана с обеспечением его живучести. Под живучестью понимается свойство адаптироваться, противостоять и сохранять совокупность критически важных функций в условиях непредвиденных воздействий на аппарат [1].

Проблему обеспечения живучести наноспутника можно сформулировать следующим образом. Для наноспутника с конкретной бортовой аппаратурой и присущими ей отказами необходимо определить эффективные схемы обеспечения работоспособности наноспутника и приемлемое решение обеспечения его живучести непосредственно на орбите, исходя из минимизации потерь целевой информации при отказах.

Известны различные подходы и методы управления живучестью космических аппаратов. Широкое применение имеют те, в основе которых лежит увеличение надёжности всех структурных элементов. Данный метод не находит применения для аппаратов нанокласса, поскольку влечёт удорожание и усложнение бортовой аппаратуры. При проектировании наноспутников часто используются электронные компоненты и модули широкого применения, не обладающие высокой радиационной стойкостью.

Другой распространённый метод – создание избыточности на борту. Она может быть структурной, информационной, функциональной, временной [2].

Структурная избыточность подразумевает дублирование отдельных элементов и систем борта, использование «горячего» или «холодного» резервирования. Применительно к наноспутникам, такой метод может быть использован, однако количество резервируемых элементов будет сильно ограничено. Резервированию целесообразно подвергать критически важные элементы борта, которые обладают небольшой массой и габаритами. К таким элементам можно отнести: бортовой компьютер, элементы приёмопередатчика, а также контроллеры всех бортовых систем.

Информационная избыточность подразумевает возможность получения одинаковой информации различными способами. Например, каждая бортовая система может иметь встроенный АЦП для контроля уровня напряжения питания. Бортовой компьютер может использовать любое из этих значений, либо производить анализ и выявлять различия в получаемых значениях. Данный подход легко может быть реализован на борту наноспутника и практически не ведёт к увеличению его массы.

Функциональная избыточность подразумевает возможность выполнения одной и той же операции различными элементами борта. Примером может служить использование резервной шины передачи данных между бортовым компьютером и контроллером критически важной бортовой системы. Интересен также эффективный способ резервирования командной радиолинии: помимо основного приёмопередатчика на борту может быть размещён радиомодем, позволяющий осуществлять информационный обмен с командным центром через спутниковые системы связи типа Глобалстар.

Приведённые примеры функциональной избыточности имеют общий недостаток – подразумевают аппаратное усложнение борта за счёт дополнительных элементов. Отдельного внимания заслуживает функциональная избыточность борта, не требующая размещения дополнительной аппаратуры. Примером может служить использование значения напряжения, снимаемого с солнечной панели, для косвенной оценки освещённости этой панели (аналог датчика освещённости). Полезным оказывается также резервирование элементов памяти с использованием различных типов накопителей.

Рассмотренные возможности организации борта позволяют повысить его отказоустойчивость и активно применяются на практике. В качестве примера можно рассмотреть наноспутник SamSat-218D, разрабатываемый в СГАУ. Упрощённая структурная схема борта представлена на рис. 1.

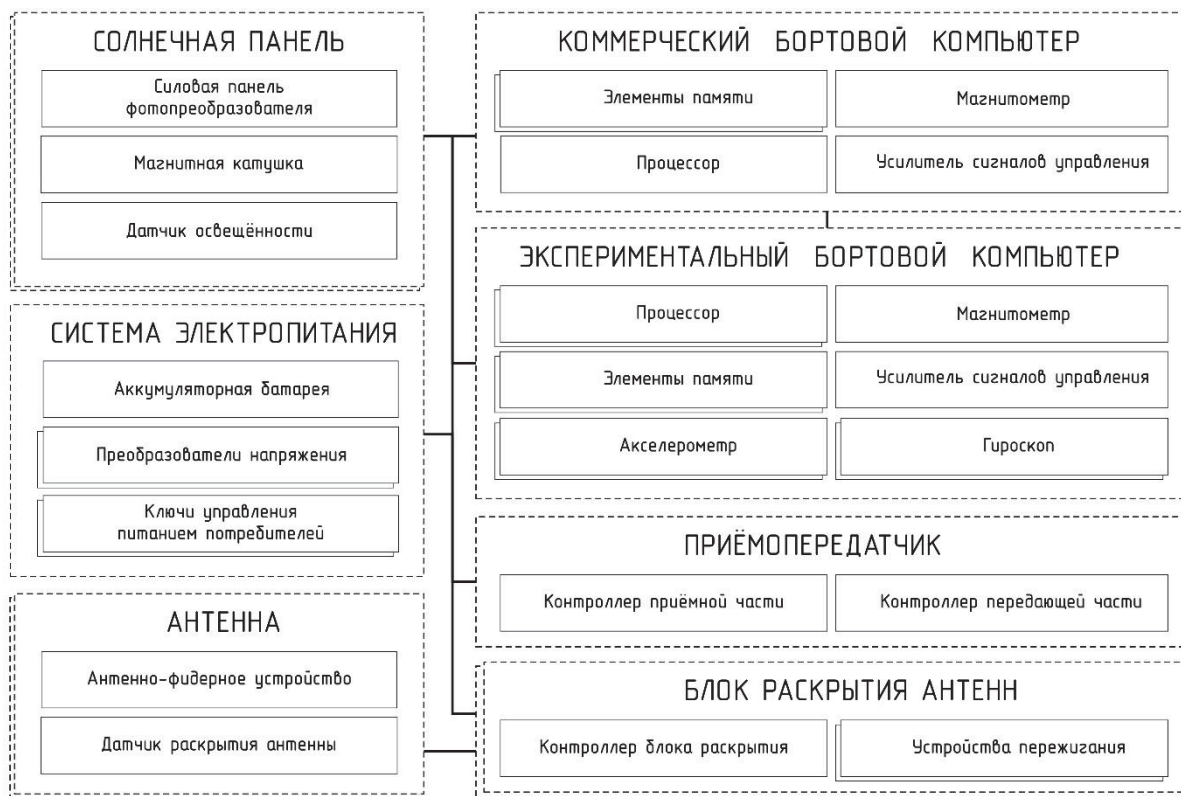


Рисунок 1 – Структурная схема наноспутника SamSat-218D

На борту используется структурное резервирование блока раскрытия антенн для связи с командным центром, самих антенн, а также датчиков параметров движения в экспериментальном компьютере. Информационная избыточность заключается в использовании магнитометров в составе обоих бортовых компьютеров, в возможности измерения напряжения питания бортовой сети двумя элементами борта: в приёмопередатчике и в системе электропитания. Широкие возможности парирования отказов предоставляет функциональная избыточность. На борту используется два бортовых компьютера, установлены солнечные панели с датчиками освещённости, используется дополнительная шина передачи данных между бортовыми компьютерами.

Наноспутник содержит все виды избыточности, что предоставляет большие возможности обеспечения его живучести. Для этого необходимым является использование на борту специального программного обеспечения, позволяющего анализировать состояние борта и осуществлять его реконфигурацию с переходами между резервными элементами.

На борту может быть использована отдельная система обеспечения живучести, однако это приведёт к увеличению массы наноспутника. Подход, не требующий дополнительных затрат, подразумевает анализ состояния бортовых средств непосредственно бортовым компьютером. Программный код обеспечения живучести может быть либо полностью вы-

делен в отдельный поток, либо внедрён в существующий код бортового компьютера по частям, относящимся к конкретным используемым бортовым средствам.

Дополнительной возможностью повышения живучести борта является использование нескольких вычислительных ядер в бортовом компьютере по примеру экспериментального компьютера SamSat-218D. При этом каждое ядро должно осуществлять мониторинг состояния соседних ядер, принимать решение об их исправности, исполнять роль главного ядра в случае необходимости.

Для обеспечения живучести бортовая система управления (БСУ) должна иметь базу данных о возможных отказах и способах их обнаружения. Например, отказ числового датчика можно обнаружить, если возвращаемое значение находится вне допустимого диапазона (такое значение не достижимо на практике), если значение не изменяется в течение длительного промежутка времени. Общий принцип обеспечения отказоустойчивости бортовой системой управления, реализованный также на наноспутнике SamSat-218D, представлен на рис. 2.

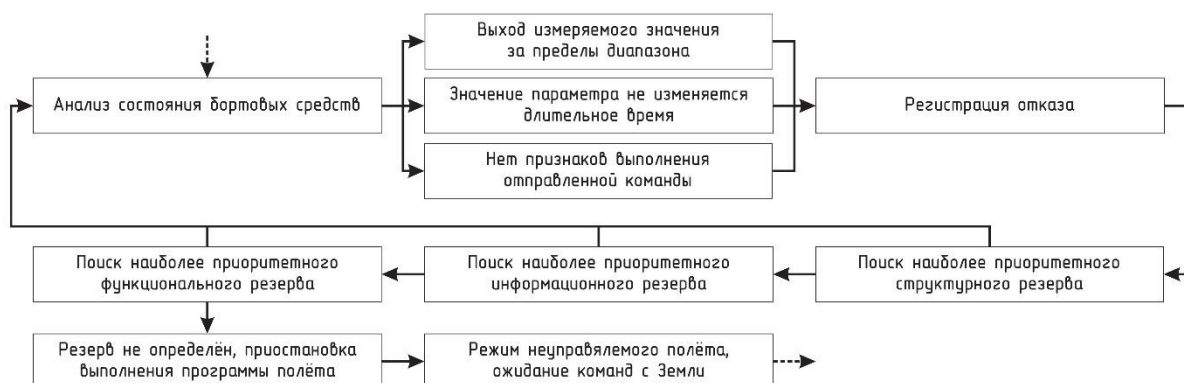


Рисунок 2 – Принцип работы отказоустойчивой БСУ

Помимо информации об отказах, в БСУ закладывается сценарий реакции на отказ. Сценарий для каждого отказа зависит от типа неисправного элемента, характера избыточности борта, позволяющей обойти возникший отказ. При возникновении отказа неисправный элемент заменяется на его копию (структурный резерв), если таковая имеется. В противном случае – на аналогичный элемент, способный предоставить либо ту же информацию, либо выполнять ту же функцию, что и исходный элемент.

Так как выбор резервного элемента может быть неоднозначным, БСУ должна содержать таблицу приоритетов использования резервных элементов борта. При возникновении отказа в одном из таких элементов борта он автоматически исключается из таблицы, а в качестве резерва используется элемент-копия или элемент-аналог, имеющий наибольший приоритет согласно таблице.

Задача обнаружения всего возможного спектра отказов на борту наноспутника довольно сложна. В условиях редких сеансов связи с командным центром, когда возможно более детальное выявление отказов, бортовая система управления должна предусматривать стандартный режим функционирования. В случае возникновения непредусмотренного отказа бортовая система управления должна переводить борт в режим, поддерживающий лишь связь с наземным комплексом управления для передачи информации о внештатной ситуации и принятия команд управления [3].

Таким образом, для создания наноспутника, обладающего повышенной живучестью, необходимо на этапе проектирования заложить различные виды избыточности бортовых средств. На этапе разработки нужно составить эффективные алгоритмы анализа состояния борта, создать базу данных возможных отказов и резервированных элементов борта, разработать сценарии реакций на отказы.

Построение эффективной бортовой системы управления, обеспечивающей живучесть наноспутника, позволит сделать космические эксперименты более качественными и результативными, выйти на новую ступень развития наноспутников. Поскольку обеспечение живучести реализуется программными средствами, надёжность такого борта будет выше надёжности других аппаратно-программных аналогов.

#### **Библиографический список**

- 1 Ахметов Р. Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Принципы управления космическими аппаратами мониторинга Земли в аномальных ситуациях [Текст]/Р. Н. Ахметов. // Информационно-управляющие системы. 2012. №1. С. 16-22
- 2 Ахметов Р. Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Особенности обеспечения целевой эффективности космических аппаратов мониторинга Земли в полёте [Текст]/Р. Н. Ахметов. // Вестник СГАУ. 2012. №4. С. 7-17.
- 3 Кирилин А. Н. и др. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии [Текст]/А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, А. В. Соллогуб, В. П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 384 с.