

Управление живучестью низкоорбитальных автоматических КА ДЗЗ



Равиль Ахметов,
первый заместитель
генерального
директора –
генеральный
конструктор ГНПРКЦ
«ЦСКБ-Прогресс»,
кандидат
технических наук

Основная задача дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – наблюдение и контроль процессов и состояния объектов на поверхности Земли, координаты которых формируются и задаются в оперативном порядке. К КА ДЗЗ предъявляются высокие требования по динамике и точности наведения оптической оси целевой аппаратуры наблюдения на множество наземных объектов, произвольным образом расположенных относительно трассы полета (рис. 1). Факторы, определяющие отличие КА ДЗЗ от других типов спутников:

- нестационарность и случайность возмущений от набегающего потока верхней атмосферы при полете КА с переменными геометрией и массой на низких эллиптических орбитах;
- потребность в высокоточном наведении КА на цель при зондировании оперативно задаваемого множества целей, произвольно расположенных относительно трассы полета;
- необходимость быстрого и точного перенацеливания со скоростями до 2-3 град/с в сеансе наблюдения множества целей в обеспечение высокой производительности;

- необходимость исключения «смаза» изображения в кадре ЦА в обеспечение наилучшего разрешения снимков.

Особенностями разработки рассматриваемого класса КА являются:

- жесткие ограничения по массе, энергетике, расходуемым ресурсам, затратам при выборе проектных решений;
- необходимость получения требуемого количества видовой информации с максимально возможным уровнем разрешения на местности и передачи ее потребителю в возможно короткие сроки;
- обеспечение отказоустойчивости (живучести) элементов орбитального сегмента КА при решении большого количества функциональных задач, связанных с управлением целевой аппаратурой, движением КА и работой бортовых систем (энергоснабжения, терморегулирования, проведения маневров и др.);
- создание бортовых систем (БС) с высоким уровнем интеллектуальной составляющей для решения в полете задач автономного функционирования аппарата и управления живучестью на основе встроенной самоорганизации и реконфигурации управления при возникновении аномальных ситуаций (АС).

В процессе штатной эксплуатации КА могут возникать нарушения работоспособности БС из-за отказов бортовой аппаратуры (БА), которые обусловлены многими факторами, в том числе отклонениями условий функционирования от штатных (например, вспышки на Солнце). В этой связи важнейшей при создании КА ДЗЗ

является задача обеспечения живучести на длительном интервале функционирования в условиях:

- высоких требований к динамике КА для обеспечения целевых показателей эффективности (ЦПЭ);
- внешних и внутренних возмущающих факторов (рис. 2);
- деградации БА из-за накопления радиационной дозы космических излучений;
- отсутствия возможности доставки на борт энергомассовых ресурсов;
- отсутствия на борту «живого интеллекта» (космонавтов).

Традиционно обеспечение живучести связывается с повышением надежности работы БС КА (их безотказностью). Однако такой подход эффективен лишь при соблюдении штатных условий функционирования аппарата. Понятие живучести значительно шире понятия надежности, так как предусматривает способность систем функционировать при наличии отказов БА, вызванных воздействием неблагоприятных факторов. Методы и модели, применяемые в теории надежности, не всегда применимы для обеспечения живучести. Существенной особенностью исследования живучести является их априорный характер, связанный с крайней дороговизной или с невозможностью проведения полномасштабных натурных испытаний. Поэтому для их исследования используется понятие «проектных» (виртуальных) нештатных ситуаций, на которые должна реагировать система. Восстановление функций БС при отказах БА осуществляет-



Рис.1. Схема типового сеанса наблюдения произвольно расположенной совокупности объектов

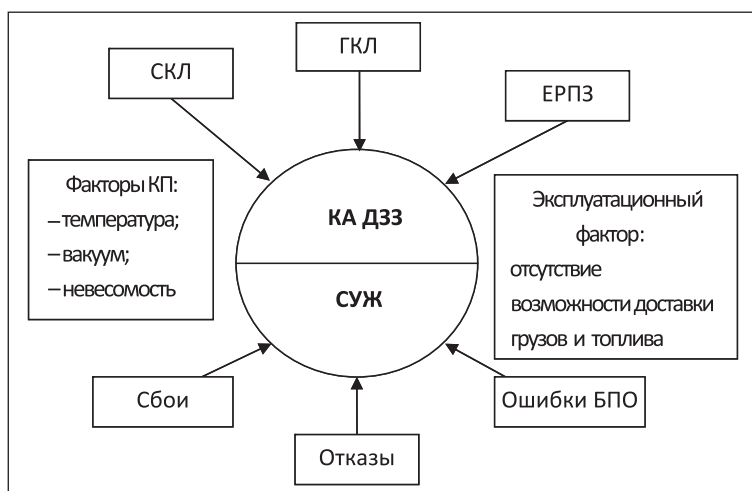


Рис. 2. Внешние и внутренние возмущающие факторы

ся, как правило, за счет избыточных ресурсов. Причем, в отказоустойчивой системе – путем возврата к предыдущей структуре и поведению с сохранением ЦПЭ, а в «живучей» – за счет изменения ее структуры и поведения, возможно с частичным невыполнением ЦПЭ.

Живучесть КА целесообразно рассматривать не только как свойство аппарата адаптироваться и сохранять минимальный набор критически важных функций при воздействии внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, но и как способность поддерживать в заданных пределах ЦПЭ. Причем, эти свойства формируются на этапе проектирования на основе структурной или функциональной избыточности аппаратно-программных бортовых средств, а реализуются в процессе эксплуатации посредством управления ими.

На этапе проектирования решаются основные задачи:

- исследование методов распределенного между НКУ и БКУ управления живучестью КА;
- разработка методов автономного управления БС при восстановлении работоспособности КА в АС на основе реконфигурации управления и встроенной самоорганизации;
- формирование структуры системы управления живучестью (СУЖ) КА, как распределенной системы с орбитальными и наземными сегментами и интеллектуальным ядром бортового базирования;
- разработка методов анализа состояния БА, выявления АС, путей их нейтрализации и восстановления функционирования спутника при жестких ограничениях на ресурсы управления;
- разработка критериальной базы оценки живучести БС и КА при воздействии возмущений внутренней среды (отказы БА, ошибки БПО) и факторов КП (ТЗЧ, ЕРПЗ, галактических и солнечных излучений);
- разработка методов повышения эффективности КА на основе полетной калибровки БА и сигнатурного зондирования;
- разработка методик оценки эффективности СУЖ при штатной эксплуатации КА ДЗЗ с учетом целевых показателей.

Укрупненная модель обеспечения живучести показана на рис. 3.

На этапе эксплуатации КА по целевому назначению решается задача управления бортовыми ресурсами, поддержания гомеостаза (рис. 4), а именно динамического равновесия в бортовых средствах КА (при отказах), неравновесного состояния КА с внешней средой (противодействие возмущающим факторам).

Подход к решению этой задачи:

- для равновесного (стационарного) состояния, когда взаимодействие КА с внешней средой носит эволюционный характер и производство энтропии (согласно теореме И. Пригожина) минимально, поддержа-

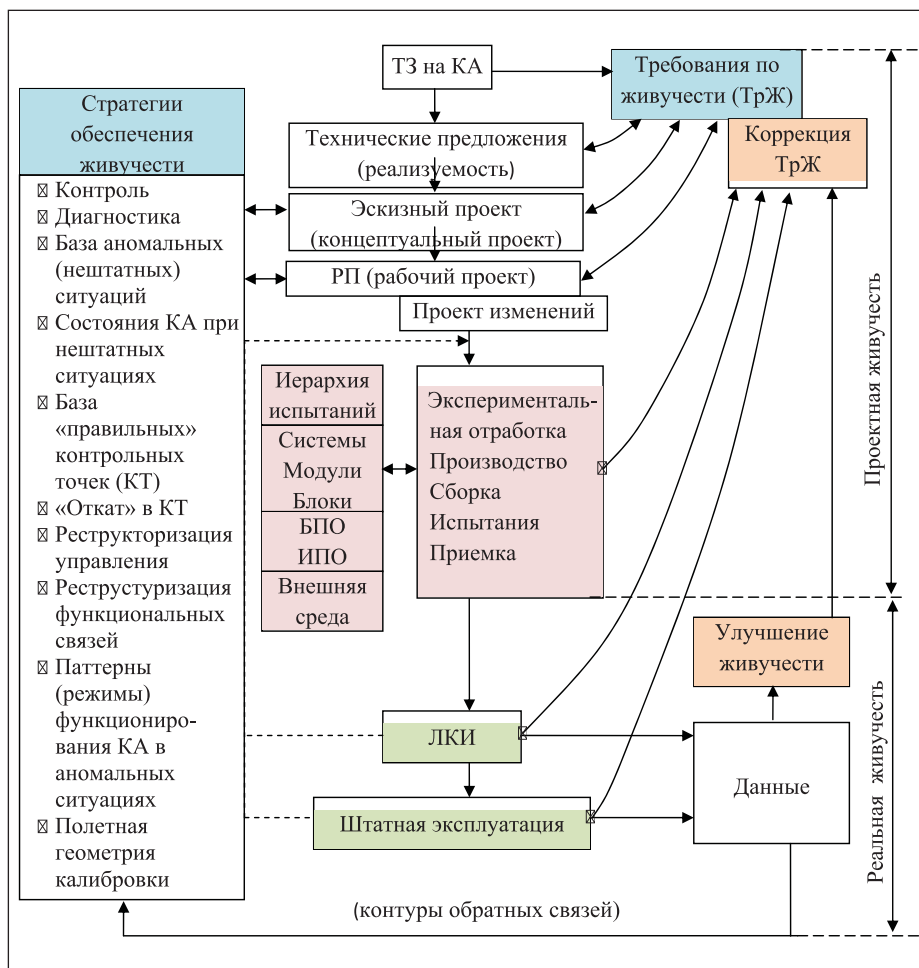


Рис. 3. Модель обеспечения живучести



Рис. 4. Гомеостаз и неравновесное состояние КА

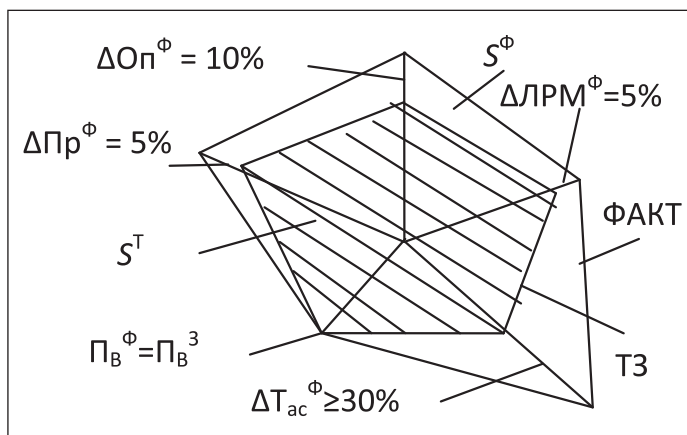


Рис. 5. Звезда показателей КА «Ресурс-ДК1» №1

ние живучести осуществляется на основе принципа Бьесиота: «скорость реагирования на угрозу (АС) должна быть больше скорости ее распространения»;

- для неравновесного состояния (интенсивный обмен с внешней средой) поддержание искусственного гомеостаза должно обеспечиваться средствами БКУ за счет перехода к новым структурам и устойчивым состояниям с учетом текущего состояния бортовых ресурсов, интеллектуализации процессов управления и внешней информации.

Если, например, ситуация возникла из-за сбоя или отказа аппаратуры и не была исправлена средствами БА, реанимация может быть осуществлена алгоритмическим путем, при котором организуется «откат» всей системы в одно из устойчивых состояний (контрольных точек), которые либо созданы заблаговременно, либо сформированы в процессе полета КА. Дальнейшее функционирование аппарата продолжается, начиная с этой контрольной точки. В ряде случаев реанимация заключается в переключении вышедшей из строя аппаратуры на резервные комплекты.

В более сложных случаях, когда для анализа АС требуются время и привлечение к анализу наземных аналитических служб, предусматривается перевод изделия в одно из двух допустимых состояний – ОДП (ориентированный дежурный полет) или НП (неориентированный полет). В БПО БКУ КА для этих целей

предусмотрен специальный паттерн – «Управление КА при возникновении неисправностей».

В контуре совместного (НКУ и БКУ) управления живучестью КА штатно используются разовые команды и РП. Кроме того, в практику эксплуатации КА ДЗЗ разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» введен инструментарий ПрОЗУ, который служит мощным средством управления аппарата при отказах БС, многократно применяемым на практике, что способствует сохранению материальной части и целевой информации. Анализ результатов эксплуатации показал, что отношение общего количества отказов к количеству отказов типа НП близко к схеме дисбаланса, известной в теории систем как «правило, или закон Парето 80/20». Проще сказать, что каждый четвертый отказ является «тяжелым» и требует вмешательства в процесс управления НКУ.

Идет пятый год эксплуатации КА ДЗЗ оптико-электронного наблюдения «Ресурс-ДК1» № 1. В процессе его применения по целевому назначению в пределах штатного ресурса проведены оценки выполнения его заданных ЦПЭ. По полученным данным для интегральной оценки целевой эффективности аппарата построена звезда ориентиров Босселя (рис. 5). Площадь фигуры $S^φ$, определяемая фактическими показателями, больше площади S^T , отражающей их требуемые значения. Это свидетельствует об успешности функционирования КА ДЗЗ «Ресурс-ДК1» №1 и выполнении в полном объеме заданных ЦПЭ.

Выбранный способ оценки целевой эффективности КА ДЗЗ является продуктивным и наглядным и позволяет судить как об устойчивости процесса функционирования КА по основным показателям, так и о его жизнеспособности на заданном интервале $T_{ас}$.

Полученные результаты отражают основные подходы к решению важной научно-технической проблемы обеспечения живучести автоматических низкоорбитальных КА ДЗЗ длительного функционирования на основе методов и средств распределенного управления живучестью БС с обеспечением заданных показателей эффективности. □

ФГУП «Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс»
 Россия, 443009, г. Самара, ул. Земеца, д. 18
 Тел./факс: (846) 955-1361, 992-6518
 E-mail: mail@samspace.ru
 www.samspace.ru