Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов

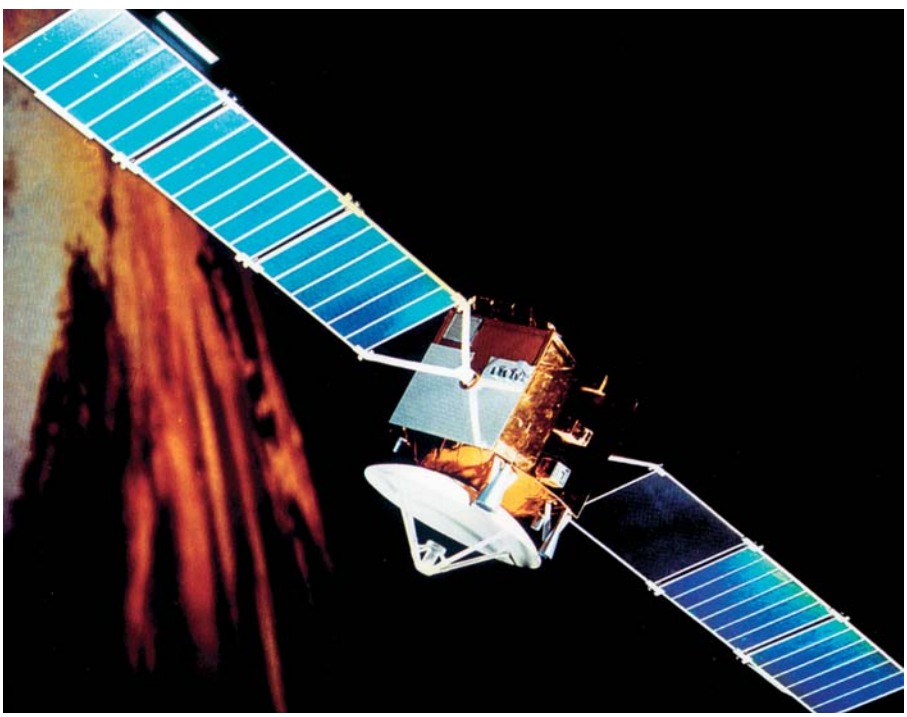
Олег Гобчанский

В статье рассматриваются некоторые проблемы, возникающие при разработке аппаратуры бортовых вычислительных комплексов, и возможные пути их решения. Приводится структура унифицированного комплекса, использующего MicroPC.

Особенности малых космических аппаратов

К малым космическим аппаратам (МКА) обычно относят аппараты с массой в пределах 500-1000 кг. Для них характерна относительно низкая стоимость вывода на орбиту, основные области применения — дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и телекоммуникация. Бортовая аппаратура (БА) МКА должна отвечать следующим особым эксплуатационным и функциональным требованиям:

- размещение в аппаратном негерметизированном отсеке объёмом 1-2 м^3 с толщиной стенок отсека 1-3 мм;
- отвод тепла от приборов БА через металлические узлы на термоплиты с температурой 0...40°С;
- большое число запусков в течение длительного периода (10-20 лет) базовой платформы МКА с разной комплектацией полезной нагрузки на орбиты, существенно отличающиеся по радиационным условиям;
- срок активного существования (САС) — до 10-15 лет;
- двойное использование платформы — для хозяйственных и оборонных целей;
- автономное функционирование, минимальное использование средств наземного комплекса управления (НКУ);
- использование ресурсов бортовых вычислительных комплексов (БВК) для наземных предстартовых проверок, минимизация функций наземного контрольно-испытательного комплекса (НКИК);



Наиболее тяжёлая проблема — обеспечение радиационной стойкости на длительный срок активного существования.

Архитектура зарубежных бортовых компьютеров

Доступные характеристики трех бортовых компьютеров (БК) для МКА, позволяющие определить основные тенденции зарубежных разработок, представлены в таблице 1.

Структура БК OBCU показана на рис. 1. БК содержит несколько резервированных модулей (процессорный модуль, отказоустойчивая память и часы, реконфигуратор, интерфейсный модуль, модуль вторичного питания), каждый из которых подключён к дублированной быстродействующей внутренней шине, функционирующей под управлением процессора. Резервные модули БК находятся в холодном резерве.

Процессорный модуль непосредственно связан с радиоканалом командно-телеметрической системы (КТС), выполняя функции удалённого терминала машины НКУ. Помимо цифровой информации от КТС может также поступать на процессорный модуль и модуль реконфигурации ограниченное число декодированных высокоприоритетных релейных команд для безусловного исполнения. В состав процессорного модуля входят оперативная и постоянная память и средства обнаруже-

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

Таблица 1. Бортовые компьютеры в блочном исполнении

№	Фирма	Шифр	Радиационная стойкость, надёжность	Архитектура, вычислительные ресурсы	Интерфейсы ввода-вывода	Конструктивные особенности	Примечание
1	Astrium (Германия)	OBCU01	100 крад, 4×10^{-8} сбоев/сутки	P1750A, 16 разрядов, 1 млн.оп./с, резервированная внутренняя шина, 256 кбайт ОЗУ, 256 кбайт ПЗУ	Специализированные радиальные каналы: - команды и телеметрия, - ориентация и стабилизация, - магнитометр Интерфейсы обмена: RS-422 и специализированные	Крейт Евромеханика 6U на 7×2 модуля, потребление 17 Вт, масса 13 кг, объём 21 дм^3	Холодное резервирование каждого из 7 модулей
2	EMS Technologies (Канада)	ESP603		PowerPC, 16 разрядов, 177-459 млн.оп./с, CompactPCI, 32 Мбайт ДОЗУ, 512 кбайт СОЗУ, 1Мбайт ППЗУ	Унифицированные и специализированные каналы	Крейт Евромеханика 6U	COTS-технология для низкоорбитальных МКА
3		ESP3000	100-300 крад	R3000, 16 разрядов, 60-75 млн. оп./с CompactPCI, 2 Мбайт СОЗУ, 1 Мбайт ППЗУ		Крейт Евромеханика 3U	

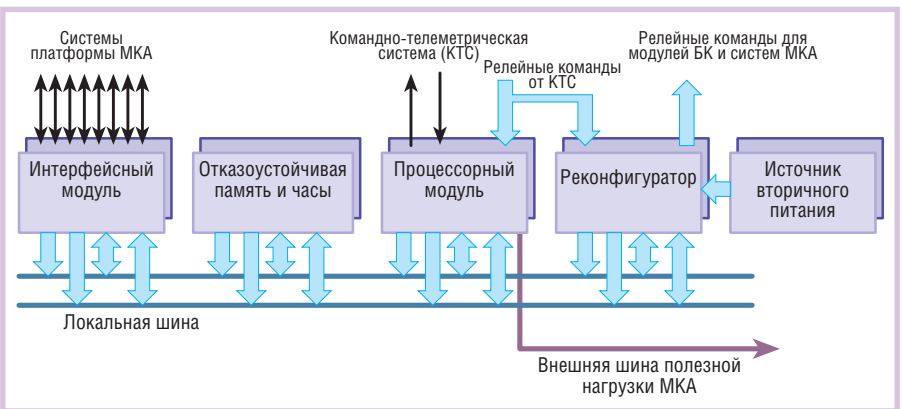


Рис. 1. Структура бортового компьютера OBCU

ния сбоев. В модуле отказоустойчивой памяти и часов также обеспечивается автономное обнаружение и исправление одиночных ошибок.

Переключением резерва управляет модуль реконфигурации, который анализирует признаки состояния, поступающие от модулей и систем МКА. Командам на изменение конфигурации, поступающим от КТС, обеспечивается приоритет. Модуль вторичного источника питания имеет независимые выходы на каждый модуль, коммутируемые модулем реконфигурации. БК обеспечивает непосредственный обмен через специализированные интерфейсные узлы со всеми системами платформы. При изменении комплектации МКА разрабатывается новый интерфейсный блок. В качестве средств связи БК с полезной нагрузкой используется отдельная последовательная шина. Одна из российских фирм заложила этот БК в свои проекты.

Общим для представленных в табл. 1 и ряда других известных БК является:

- унификация на базе конструктива Евромеханика 6U (3U), высокопроизводительной внутренней шины и совместимого набора модулей;
- прямой обмен процессора БК с НКУ через КТС;
- обмен с датчиками и исполнительными устройствами базовых систем МКА через модули БК по специализированным радиальным связям или через специализированные контроллеры;
- модульная архитектура, позволяющая адаптировать структуру комплекса для разных проектов;
- использование внешних последовательных магистралей наряду со специализированными радиальными связями;
- радиационно-стойкая (от 100 крад и выше) элементная база для высоких орбит, COTS-компоненты для низкоорбитальных МКА;
- относительно высокие вычислительные ресурсы (производительность — 1-5 миллионов операций в секунду, ёмкость ОЗУ, ПЗУ — 1-4 Мбайт);
- кратность резервирования — 2 (основной модуль и резервный — «холодный»);
- парирование сбоев внутренними средствами встроенного контроля одноканального процессора (сторожевой таймер, ЗУ с избыточностью и восстановлением и т.п.);
- формирование команд, сбор и выдача телеметрической информации проводится БК (за небольшим исключением);
- потеря живучести при отказе БК.

Несколько иной подход к унификации используется в разработке фирмы Lockheed Martin Astro Space. БВК представляет собой распределённую структуру на базе внешней высокоскоростной магистрали, используемой в режиме реального времени. Роль интерфейсных модулей для связи с датчиками и исполнительными элементами платформы МКА выполняют выделенные блоки, подключаемые к внешней (а не внутренней) магистрали. Для БА, не имеющей соответствующих MIL-STD-1553 терминалов, используются удалённые интерфейсные блоки. Интерфейсные блоки, комплектуемые из унифицированных плат, собирают телеметрическую информацию, формируют команды, согласуют нестандартные сечения аппаратуры платформы и полезной нагрузки с магистралью.

Тенденции в отечественных разработках

Сегодня разработчики БК вынуждены учитывать состояние в отечественной электронной промышленности:

- отсутствие полного комплекта радиационно-стойких ИМС с гарантированными характеристиками для построения высокопроизводительного БК с освоенным общим программным обеспечением;
- отсутствие единого технологичного конструктива (например, Евромеханика).

Это вынуждает использовать зарубежные комплектующие, в том числе и не радиационно-стойкие, но обладающие необходимыми функциональными возможностями, элементную базу и отдельные платы, реализуя специальные меры по их отбору, дополнительной защите и адаптации для космических применений.

С другой стороны, создают определённые проблемы укоренившиеся решения Главных конструкторов, не учитывающие особенности МКА:

- использование многоканальной архитектуры БК (до 5) с аппаратным или программным мажорированием

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

трех постоянно включённых комплектов;
- излишняя автономность систем, включающих большое число автономных приборов, не позволяющая эффективно использовать возможности БВК;
- дешифрация основного числа команд управления НКУ автономными средствами бортовой аппаратуры командно-измерительной системы (КИС), а не приборами БВК;
- сбор, хранение, обработка и сброс результатов телеметрических измерений средствами автономной бортовой системы телеметрических измерений (СТМИ);
- использование мультиплексного канала обмена (МКО) по ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553) при малой информативности обмена.


Конструкторские решения для БА КА

Эти решения, в свою очередь, создают ряд проблем при проектировании систем КА. Например, автономность систем разделяет сферы ответственности разработчиков и ведёт к увеличению сложности аппаратуры, снижению надёжности, повышению массы и потребления. Особенно это характерно для систем, эксплуатируемых в сеансном режиме.

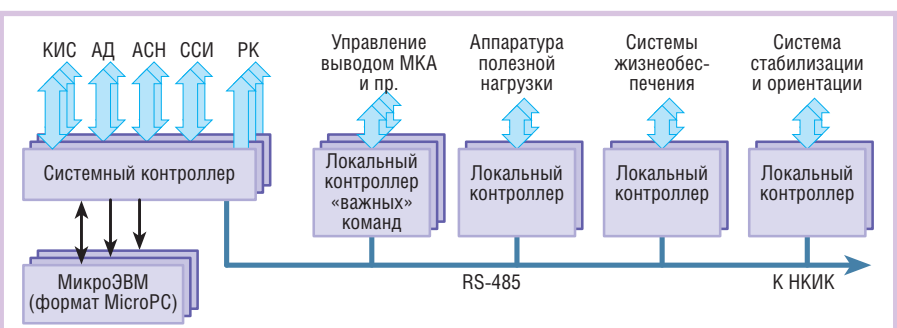
Отдельно следует остановиться на использовании МКО, который обеспечивает пропускную способность около 1000 кбод на расстояние до 100 м, причем расстояние между согласующими трансформаторами шлейфов должно быть не менее 1 метра. При объеме МКА 1-2 м^3 длина резервированной магистрали будет около 10 м, а вес (с согласующими трансформаторами) — 1-2 кг. С другой стороны, фактическая скорость передачи данных по магистрали МКА не превышает 7 кбод, что определяет кпд информационного обмена [1] менее 0,7%. Однако затраты при этом весьма впечатляют: стоимость одной микросхемы оконечного устройства канала или контроллера составляет $1000-1500, что в два раза превышает стоимость микроЭВМ. Радиационно-стойкие зарубежные микросхемы для МКО стоят ещё дороже. Затраты на проект с учётом отработочных комплектов, наземных средств и контрольно-измерительной аппаратуры достигают 10-20% стоимости БВК, а отработка бортовой сети, кроме того, требует высокой квалификации специалистов и занимает много месяцев. Использование сети на 15 резервированных абонентов потребует также дополнительной мощности порядка 10-15 Вт. В [1] МКО характеризуется как продукт затратной экономики холодной войны, на который «...потрачено уже около миллиарда рублей в старом доперестроечном исчислении» и для которого «создано шесть элементных баз, и все они не годятся...» и финансируется создание новых.

Структура унифицированного БВК МКА

На рис. 2 приводится альтернативная структура БВК МКА, в которой учтены тенденции, просматриваемые как в зарубежных, так и в отечественных проектах, а также предлагаются некоторые новые решения, продиктованные сегодняшними реалиями. В частности, за счёт организации периодического переключения (ППР) [2] предлагается создать унифицированный БВК на базе доступных ИМС и MicroPC как для низких орбит, так и для «тяжёлых» орбит, например, для геостационарной орбиты (ГСО).

БВК представляет собой распределённую вычислительную систему, которая включает системный контроллер (СК), высокопроизводительную микроЭВМ формата MicroPC и специализированные локальные контроллеры (ЛК), обслуживающие несколько систем.

СК является ядром БВК и контроллером сети, а во время сеанса связи с НКУ — удалённым терминалом радиоканала Земля — МКА. СК выполняет следующие функции:
- двусторонний обмен по радиальным связям (RS-232/422):
  - с приёмником и передатчиком бортовой командно-измерительной системы (КИС),
  - аппаратурой систем сбора измерений (ССИ),
  - аппаратурой спутниковой навигации (АСН),
  - астродатчиком (АД);
- двусторонний обмен с микроЭВМ;
- низкоинформативной обмен с ЛК систем по магистрали RS-485;
- верификация команд и командно-программной информации, поступающей по радиолинии с НКУ, передача их в микроЭВМ и ЛК или хранение в отказоустойчивом ОЗУ в форме врѐменных программ;
- выдача разовых команд в соответствии с информацией, полученной от НКУ, микроЭВМ или при отработке временной программы;
- отработка режимов включения ЛК и другой БА с выдачей соответствующих разовых команд;
- диагностика состояния и реконфигурация микроЭВМ, КИС, ССИ, АСН, АД, ЛК и магистрали;
- формирование бортовой шкалы времени (БШВ) и синхронизация её со шкалой времени НКУ и таймерами ЛК;
- отказоустойчивое хранение системной информации;
- поддержка отказоустойчивости вычислений микроЭВМ;
- обеспечение прямой передачи командно-программной информации с



Условные обозначения: РК — разовые команды; КИС — командно-измерительная система; АД — астродатчик; АСН — аппаратура спутниковой навигации; ССИ — система сбора измерений.

Рис. 2. Структура бортового вычислительного комплекса малого космического аппарата

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

НКУ через сеть в ЛК (например при отказе микроЭВМ).

ЛК являются оконечными устройствами сети для систем платформы и полезной нагрузки и выполняют следующие функции:

- диагностика состояния и реконфигурация аппаратуры обслуживаемых систем;
- выполнение автономных программ управления системами;
- хранение и отработка временных программ для обслуживаемых систем;
- декодирование и выдача локальных релейных команд, передаваемых кодом по сети с НКУ или от микроЭВМ;

Системный контроллер и локальные контроллеры компонуются из единой номенклатуры модулей, обеспечивающей обмен дискретными и аналоговыми сигналами с системами и обмен между собой (по сети).

МикроЭВМ выполняет вычисления, не требующие жесткой привязки к реальному времени, но использующие значительные ресурсы:

- обработка полётного задания;
- формирование планов целевой работы;
- проведение навигационных вычислений по информации АСН и АД;
- подготовка отчётов для НКУ;
- подготовка временных программ для СК и ЛК, выполняемых в процессе целевой работы.

Обработанная информация, необходимая для управления, выдаётся в форме временных программ, реализуемых СК или ЛК одновременно с программами, прошитыми в ПЗУ. Имеется возможность «прозрачного» обращения через СК и ЛК ко входам или выходам систем без точной привязки ко времени для технологических и аварийных программ.

В БВК предусматриваются три режима управления, которые могут реализовываться в зависимости от состояния аппаратно-программных средств, при появлении незапланированных ситуаций, при выработке ресурса или при отработке новых режимов.

1. Режим координатно-временного управления в автономном полёте согласно полётному заданию, по результатам выполнения алгоритмов в микроЭВМ, а также автономных и временных программ, реализуемых СК и ЛК.
2. Программно-временной режим. В этом режиме вычисления выполняются на Земле, а в сеансе связи через КТС происходит загрузка аналогичных временных программ непосредственно в СК и ЛК и их отработка. Естественно, при этом возможно неполное выполнение целевой функции в части оперативности и точности. Режим может использоваться при отработке непредусмотренных ситуаций, в случае отказа аппаратно-программных средств микроЭВМ, при реализации частных программ.
3. Аварийный режим не предусматривает выполнения целевой функции, а служит для сохранения оставшихся ресурсов МКА, получения максимально возможной диагностической информации при полном или частичном функционировании систем жизнеобеспечения. При этом СК и ЛК реализуют автономные программы, оставляя во включённом состоянии необходимый минимум аппаратуры.

В любом режиме сохраняется возможность выдачи разовой команды для немедленного исполнения в сеансе связи через командную матрицу СК.

Элементная база

К сожалению, в настоящее время и в ближайшем будущем невозможно бу-

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

дет спроектировать высокопроизводительный БК на отечественной элементной базе с характеристиками, соответствующими зарубежным образцам. Поставка в Россию комплекта зарубежной радиационно-стойкой элементной базы для большинства проектов тоже практически невозможна.

В такой ситуации взоры разработчиков обращаются к высоконадёжным не радиационно-стойким изделиям, хорошо себя зарекомендовавшим в жёстких условиях эксплуатации, в надежде найти среди них устройства, потенциально пригодные для использования в составе бортовой космической аппаратуры. Наибольший интерес специалистов вызывают модули и процессорные платы MicroPC фирмы Octagon Systems, тем более, что уже имеется опыт их применения в космосе.

В качестве микроЭВМ для предложенной структуры БВК рассматривались модули центрального процессора MicroPC 6024 и 5025. Элементная база, используемая в этих модулях, зарекомендовала себя достаточно хорошо. Проведённые отработочные и квалификационные испытания показали её устойчивость к космическим воздействиям при предельной накопленной дозе радиации (ПНД) в непрерывном режиме функционирования (НР) порядка 10 крад [2]. В дальнейшем предполагается использовать модули MicroPC 2133 и 5066, имеющие достаточно большие вычислительные ресурсы (процессор AMD 586/133 МГц, 4 Мбайт ДОЗУ, твердотельный диск ёмкостью до 144 Мбайт; ожидаемая радиационная стойкость в НР — порядка 4 крад (в 2-3 раза ниже, чем у модулей 6024 и 5025).

Бортовые контроллеры СК и ЛК (ОЗУ и ПЗУ по 32-64 кбайт, разрядность — 16 бит, тактовая чистота — 12 МГц) можно создать с использованием практически только отечественной элементной базы. Комплект содержит микроконтроллер 1874ВЕ36, ОЗУ 537РУ21, ПЗУ серий 1623 или 556, заказные СБИС на базовых матричных кристаллах серии 1537ХМ3, КМОП ИМС средней интеграции. Все перечисленные ИМС имеют гарантированную радиационную стойкость не менее 30 крад.

Для повышения надёжности перед использованием все элементы должны пройти отбраковку по результатам диагностического неразрушающего контроля [3]. Для особо важных элементов может проводиться отбор по результатам радиационно-термической обработки [2]. Планируется проведение квалификационных испытаний для MicroPC 2133 с принятием соответствующих мер по повышению надёжности.

Выбор сетевого интерфейса

В рассматриваемой структуре БВК используется сеть, объединяющая 4-5 абонентов (СК и ЛК), со скоростью передачи данных 2-5 кбод и общей длиной порядка 1-3 м. При наземных испытаниях к сети подключается аппаратура НКИК, находящаяся на удалении до 50 м. Для такой сети наиболее удобно использовать интерфейс RS-485 с символьной частотой порядка 100-300 кГц. Протокол RS-485 поддерживается практически всеми компьютерами промышленного назначения и микроконтроллерами. Более 5 зарубежных фирм поставляют интерфейсные приёмопередатчики 50 наименований. Испытания ИМС Max1480 и Max480 подтвердили достаточную радиационную стойкость [2]. Отечественные аналоги разработаны, но не выпускаются. Учи-

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

тывая устоявшиеся терминологию и идеологию протоколов по ГОСТ 26765.52-87, предлагается максимально использовать те же термины и форматы и в протоколе RS-485. При этом реализация протокола поддерживается программным способом, а обмен с абонентом допускается в заданные моменты по системным циклам.

Обеспечение радиационной стойкости и отказоустойчивости

Для обеспечения радиационной стойкости и отказоустойчивости могут быть использованы избыточные ресурсы микроЭВМ.

Приборы БВК (рис. 2) имеют «холодный» резерв и рассчитаны на функционирование с принудительным переключением режима (ППР) [2]. Все связи с БА, внутри БВК и между модулями ЛК и СК (за исключением микроЭВМ) выполнены с «крестами». Во включённом состоянии находятся один или два комплекта СК (один из них — ведущий), микроЭВМ, один ЛК ориентации и стабилизации и один комплект ЛК жизнеобеспечения. ЛК «важных» команд содержит три комплекта с мажорированием выходов, но включается только в заданный момент на время работы заложенной временной программы. Системы жизнеобеспечения имеют резервный контур управления с командной матрицы СК на случай отказа обоих комплектов ЛК. При сеансовом режиме работы ЛК полезной нагрузки (один из комплектов) включается только на время сеанса. Приборы переключаются жёсткой временной программой СК из одного состояния (резерв/работа) в другое при смене месяца (или с некоторой задержкой, если в момент переключения невозможно приостановление выполнения целевой программы). Модули основного и резервного комплектов размещаются вперемежку в одном моноблоке, для того чтобы выключенный модуль подогревался и релаксация накопленной дозы проходила более интенсивно. При отсутствии резерва, например по причине отказов по мере истечения САС, для достижения максимального значения ПНД необходимо выключать питание на время 30-50 часов после набора каждой очередной дозы в 100-300 рад за несколько месяцев работы во включённом состоянии. Этого может оказаться достаточно, чтобы накопленный в процессе работы избыточный по сравнению с выключенным состоянием заряд полностью релаксировал.

Таблица 2. Оценка запаса по радиационной стойкости при использовании ППР

Узлы БВК, элементная база	Режим рабты	Толщина защиты (Al), мм	ПНД критического узла, крад	Поглощённая в течение САС доза, крад	Коэффициент запаса
ИМС приёмка 5 для СК и ЛК	НР	8	30	10,0	≥3
	ППР	8	180	10,0	≥18
MicroPC, зарубежные ИМС индустриального назначения	НР	12	4	2,9	≥1,4
	ППР	12	24	2,9	≥8,3

В таблице 2 в соответствии с результатами испытаний [2] приведены ожидаемые значения ПНД в разных режимах для используемой зарубежной элементной базы индустриального назначения и отечественной элементной базы с приёмкой 5. На рис. 3 приведен график зависимости поглощённой дозы в кремнии ИМС от толщины по алюминию защиты для срока активного существования космического аппарата на геостационарной орбите, равного 10 годам. Для элементной базы MicroPC выбираем защиту толщиной 12 мм, для отечественной — 8 мм, что определяет величину поглощённой дозы. В таблице 2 показаны значения соответствующих коэффициентов запаса по ПНД для режима ППР при существующих радиационных условиях на орбите. Полученные результаты гарантируют устойчивость к низкоинтенсивному излучению при эксплуатации (ГОСТ 20.57.308-98).

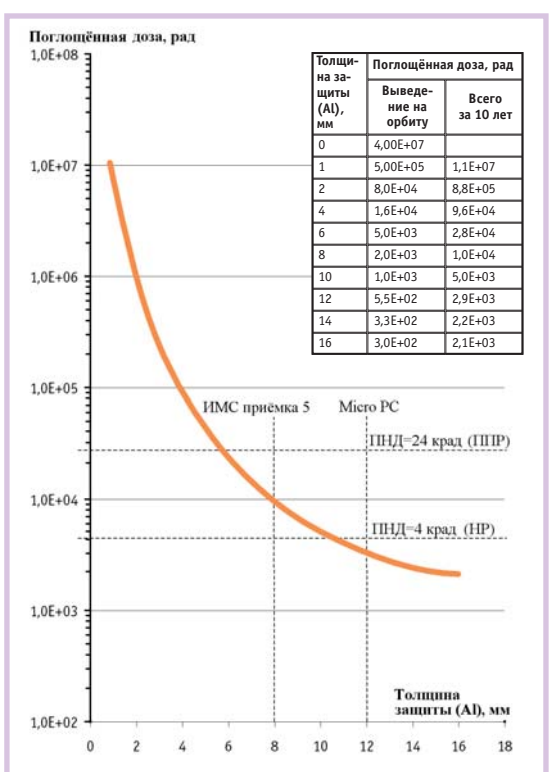
Тяжёлые заряженные частицы (ТЗЧ) космического пространства, воздействуя на ИМС, могут вызвать искажения отдельных битов данных или программы. Интенсивность сбоев зависит от типа используемой памяти, параметров орбиты и активности Солнца. Для статической памяти 537-й серии объёмом 32 кбайт, используемой в СК и ЛК, ожидаемая средняя интенсивность сбоев для высоких орбит может доходить в сутки до 0,0001 сбоя, а пиковая — до 1 сбоя. Сбои динамической памяти объёмом 2-4 Мбайт могут достигать интенсивности 0,01 сбоя в сутки, а флэш-памяти — 0,0000001 сбоя в сутки (по данным Кузнецова Н.В., НИИ ЯФ МГУ). ПЗУ СК и ЛК, не использующее зарядовое хранение информации, подобным сбоям не подвержено.

В БВК предлагается использование следующей концепции парирования последствий сбоев.

Для команд управления, ложная выдача которых или невыдача в заданное время имеет фатальные последствия, используется отдельный трёхканальный ЛК с аппаратным мажорированием.

В СК и ЛК предусматриваются сторожевой таймер, ОЗУ с обнаружением и исправлением одиночных отказов, контекстная проверка, а для некоторых задач — двойной просчёт.

Программы микроЭВМ (ОС РВ и прикладные с общим объёмом 1-1,5 Мбайт) хранятся в 5-10 копиях на твёрдых дисках и защищаются контрольной суммой, проверяемой при загрузке. В случае её искажения проводится загрузка другой копии, а первая восстанавливается, если это возможно (кстати, флэш-память имеет ПНД в режиме записи в несколько раз ниже, чем в режиме считывания).



Толщина защиты (Al), мм	Поглощённая доза, рад	
	Выведение на орбиту	Всего за 10 лет
0	4,00E+07	
1	5,00E+05	1,1E+07
2	8,0E+04	8,8E+05
4	1,6E+04	9,6E+04
6	5,0E+03	2,8E+04
8	2,0E+03	1,0E+04
10	1,0E+03	5,0E+03
12	5,5E+02	2,9E+03
14	3,3E+02	2,2E+03
16	3,0E+02	2,1E+03

Рис. 3. Зависимость поглощённой дозы от толщины защиты при выводе и эксплуатации БВК на геостационарной орбите в течение 10 лет

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

На случай искажения программы в ОЗУ после загрузки здесь также хранится не менее 3 защищенных копий.

В MicroPC каждая задача разбивается на фрагменты, которые выполняются под управлением разных копий несколько раз как независимые задачи с разными областями данных. Результаты сравниваются и в случае положительного результата передаются для дальнейшей обработки и исполнения в ЛК или соответствующей программе СК для непосредственного управления БА, а в случае отрицательного результата информация выдаётся с другого комплекта БК или в этом цикле не выдаётся вовсе и расчёты по фрагменту повторяются с задержкой на время реабилитации.

Для MicroPC используется специальная тестовая программа, с заданной интенсивностью искажающая информацию в случайно адресуемых ячейках ОЗУ. Исполнение всех прикладных программ на всех этапах наземной отработки проверяется при одновременной работе этой тестовой программы; по сбоям в выполнении отдельных фрагментов программ может быть проверена эффективность защиты программного обеспечения от сбоев и критичность задержки выдачи результатов при реабилитации микроЭВМ.

В некоторых случаях воздействие ТЗЧ может привести к возникновению тиристорного пробоя в структуре КМОП. Состояние тиристорного пробоя может длиться в течение нескольких секунд, характеризуется прекращением работы и, как правило, увеличением тока потребления, после чего наступает необратимый отказ. При значительном увеличении тока срабатывает на короткое время защита вторичного источника. При отсутствии отклика от микроЭВМ системный контроллер отключает её питание и ведущим становится другой комплект, находящийся в «горячем» резерве, а перезагрузка данных для восстановления вычислений производится через магистраль в фоновом режиме.

Заключение

Основными особенностями рассматриваемой структуры являются:

- возможность использования компонентов индустриального назначения (например изделий MicroPC) в бортовой отказоустойчивой аппаратуре с длительным САС и повышенными требованиями радиационной стойкости за счёт ППР;
- применение выделенного системного контроллера с системообразующими функциями;
- прямые связи с системами, максимально использующими ресурсы БК, и применение локальных контроллеров, обеспечивающих автономность других систем;
- сбор, хранение, обработка и сброс через обратный канал КИС телеметрических сообщений под управлением БК;
- повышенная живучесть в условиях катастрофических и радиационных отказов бортового компьютера (использование избыточности ресурсов и разных контуров управления, временное отключение питания в конце САС и т.п.);
- возможность замены микроЭВМ без изменения архитектуры БВК;
- применение низкоскоростной магистрали с программируемой поддержкой обмена и протоколом с форматами по ГОСТ 26765.52-87.

Предлагаемая концепция построения БВК была заложена в проекты по двум изделиям, при этом учитывались возможности унификации, сокращения сроков и трудоёмкости изготовления с перспективой дальнейшей модификации.

Объективные причины, препятствующие унификации, на практике определяются отсутствием единого технологичного конструктива для приборов БВК и стремлением разработчиков смежных систем (КИС, СТМИ, АСН, СУД) к максимальной автономности, не позволяющей полностью использовать ресурсы БК; кроме того, сохраняется странная приверженность к МКО.

Тем не менее некоторые решения, такие как ППР, обеспечение отказоустойчивости MicroPC на одном комплекте, специализированные ЛК, получают реальное воплощение. ●

Литература

1. В.А. Ацюковский. Приключения инженера. — Минск: Петит, 1997.
2. Гобчанский О.П., Попов В.Д., Николаев Ю.М. Повышение радиационной стойкости индустриальных средств автоматики в составе бортовой аппаратуры // «СТА». — 2001. — № 4.
3. Н.С. Данилин, Ю.Л. Нуров. Диагностика и контроль качества изделий цифровой микроэлектроники. — М.: Издательство стандартов, 1991.

Автор — сотрудник РНИИ КП
Телефон: (095) 273-9354

© 2001, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru