

ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЯХ. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ СТОЙКИХ К РАДИАЦИИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

А.В. Шпинев, А.Н. Потапов

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: С расширением границ космических исследований и увеличением продолжительности миссий, критически важной становится задача обеспечения надежности и долговечности электронного оборудования, работающего в условиях открытого космоса. Ключевой угрозой для бортовой электроники выступает ионизирующее излучение, способное вызывать сбои и необратимые повреждения микросхем. В этой связи разработка и производство радиационно-стойких микроконтроллеров превращается в стратегическое направление для отечественной и мировой космонавтики.

Цель данной статьи – систематизировать виды радиационных воздействий в космическом пространстве и провести обзор российских производителей и разработчиков специализированных микроконтроллеров, устойчивых к экстремальным факторам космической среды. Особое внимание уделяется техническим характеристикам, применяемым технологиям и перспективным разработкам в данной области.

Ключевые слова: космическая радиация, радиационная стойкость, микроконтроллер, электронное оборудование, ионизирующее излучение, отечественная микроэлектроника, космический аппарат, отказоустойчивость.

TYPES OF EFFECTS ON ELECTRONIC EQUIPMENT IN SPACECRAFT. DOMESTIC MANUFACTURERS OF RADIATION-RESISTANT MICROCONTROLLERS

A.V. Spinev, A.N. Potapov

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov

Abstract. As the boundaries of space exploration expand and the duration of missions increases, the task of ensuring the reliability and durability of electronic equipment operating in outer space becomes critically important. The key threat to on-board electronics is ionizing radiation, which can cause malfunctions and irreversible damage to microcircuits. In this regard, the development and production of radiation-resistant microcontrollers is becoming a strategic direction for domestic and global space exploration.

The purpose of this article is to systematize the types of radiation effects in outer space and to review Russian manufacturers and developers of specialized microcontrollers that are resistant to extreme factors of the space environment. Special attention is paid to technical characteristics, applied technologies and promising developments in this field.

Keywords: cosmic radiation, radiation resistance, microcontroller, electronic equipment, ionizing radiation, domestic microelectronics, spacecraft, fault tolerance.

Виды воздействия на электронное оборудование в космических кораблях

В космическом пространстве существует довольно обширное многообразие угроз как космонавтам, так и пилотируемым станциям, ракетам и также оборудованию. В составе таких угроз лежат физические величины: температура, давление, радиация. Для человека, в первую очередь, опасны частицы энергии, которые вылетают из Солнца в результате гигантских солнечных извержений.

Излучение в космосе является одной из самых значительных угроз для человека в космосе. Излучение – это есть такой вид энергии, что заключена в электромагнитные волны или, которая переносится частицами космоса. А уже энергия передается, когда волна или частица сталкиваются с чем-либо еще, например, с космонавтом или компонентом космического корабля. Разные виды частиц имеют свои параметры угрозы.

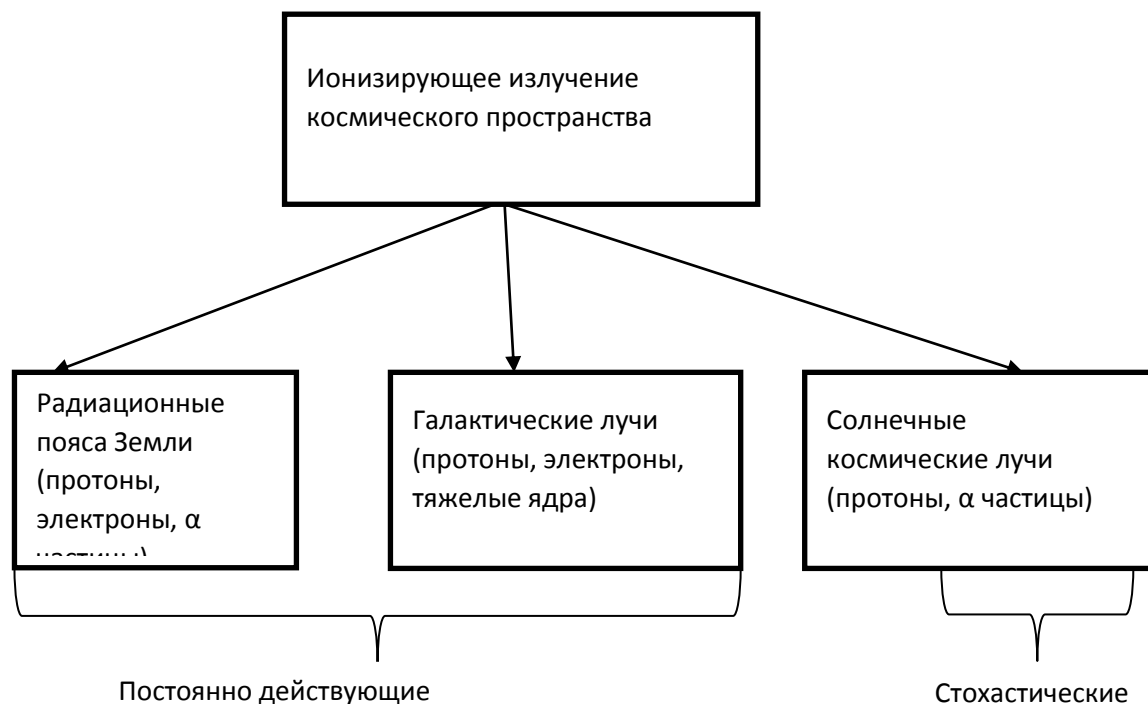


Рисунок 1 – виды излучения в верхних слоях атмосферы и космосе

Основные особенности космической радиации, отличие от наземных источников.

Первым отличием является состав – протоны, электроны, тяжелые ($Z > 1$) ионы, нейтроны (вторичные) и др.

Вторым отличием выступает уже энергетический спектр – от десятков кэВ до ГэВ (и выше).

Третьим отличием идёт наличие в ряде случаев пространственной неоднородности и угловой анизотропии.

Четвёртым отличием – временная динамика, 11-летний солнечный цикл.

Пятым отличием – стохастические всплески интенсивности до 100-1000 раз.

Стохастичность – случайность или случайный. Это изменение системы с недетерминированным поведением: последующее состояние такой системы описывается как величинами, которые могут быть предсказаны, так и случайными.

Радиационные пояса Земли.

У нашей родной планеты Земля существуют свои 2 радиационных пояса – внутренний и внешний.

Внутренний пояс: состоит, в основном, из протонов, нижняя граница проходит на расстоянии в 200-300 км над Землей (область Южно-

Атлантической Аномалии), основная часть пояса расположена на высоте ~ 4000 км.

Внешний пояс: состоит, в основном, из электронов, расположен на высоте $\sim 17\,000$ км.

Между внутренним и внешним радиационными поясами имеется щель, которая расположена в интервале от 2 до 3 радиусов Земли.

Защитой от них следующие способы:

- 1) Выбор траектории.
- 2) Увеличение толщины защиты космического аппарата $J = J(x)$
- 3) Использование эффекта анизотропии потоков.
- 4) Солнечная модуляция:

– для протонов минимальный поток в максимуме солнечной активности и наоборот;

– для электронов минимальный поток в максимуме солнечной активности и наоборот.

Галактические космические лучи.

Наряду с радиационными поясами Земли также существуют галактические космические лучи. Источниками таковых являются: пульсары, вращающиеся нейтронные звёзды; взрывы сверхновых звезд; ядра галактик.

В число свойств галактических космических лучей входит: зарядовый состав – вся таблица Менделеева; Широкий энергетический спектр (до сотен ГэВ); коэффициент качества – $QF = 4-5$; изотропия потоков и солнечная модуляция – минимальный поток в максимуме солнечной активности и наоборот.

Защитой же от галактических космических лучей выступает экранирование телом Земли – $\frac{1}{2}$, геомагнитное обрезание – 20-40%, толщина атмосферы планеты (космического аппарата) $J = J(x)$, Форбуш эффект – кратковременное (1-3 суток) ослабление потоков галактических космических лучей на десятки процентов, вызванное усилением солнечной активностью (в периоды геомагнитных бурь и т.п.).

Солнечные протонные события.

Солнечное излучение также делится на энергичные частицы, в основном протоны $E_p > 30$ МэВ, идущие от Солнца, $QF = 1-2$.

Они непредсказуемые (стохастические), в которых есть активные области на солнечном диске, тут необходимо оценивать каждое событие по мере его

развертывания, и максимальная опасность на период максимума солнечной активности, включая фазу спада и роста.

Воздействие на орбите МКС: обычно << суточной дозы, опасность при проведении ВКД и при прохождении областей с низким порогом геомагнитного обрезания.

Свойства солнечных протонных событий: стохастический характер, состав – протоны и ядра, энергия – меньше 10^3 МэВ/нукл, есть анизотропия[1].

Радиация на Земле и в космосе.

Таблица 1 – Количество излучения в различных местоположениях

Место расположение и период экспонирования	H, мЗв
Фоновая доза на поверхности Земли за сутки / за год	~0.003 / ~ 1
Доза на борту космической станции за сутки / за год	0.6 / 220
Доза за рентгеновский снимок грудной клетки	0.1
Доза от мощного солнечного протонного события на низкой околоземной орбите / за пределами магнитосферы	6 / >100
Доза при внекорабельной деятельности (6 часов)	~ 0.6 мЗв
Дозовый предел для космонавта ~1 день / 1 месяц / 1 год	100 / 150/ 300
Дозовый предел за 1 год для персонала группы А на Земле (в среднем за 5 лет)	20
Профессиональный предел дозы космонавта / персонала группы А	1000

Отечественное производство микроконтроллеров

Среди отечественных производств микроэлектроники можно отметить крупнейшие Зеленоградский завод «Микрон», «Ангстрем» (и «Ангстрем-Т»), Зеленоград, НИИ системных исследований РАН, Москва, «Интеграл», Минск.

Также стоит отметить разработчиков микроэлектроники: «Миландр», Зеленоград; НПЦ «Элвис», Зеленоград; НИИСИ РАН, Москва; НТЦ «Модуль», Москва; НИИМА «Прогресс»; Москва; Дизайн-центр «Союз», Зеленоград; «Мультиклет», Екатеринбург; КТЦ «Электроника», ВЗПП-С, ВЗПП-Микрон, Воронеж; НИИЭТ, Воронеж.

Далее по порядку.

Зеленоградский завод «Микрон» заявляет на своем сайте наличие технологий:

1) 180 нм объемная технология с EEPROM – уже хорошо известная разработчикам технология, на которой работают практически все, кто имеет такую возможность. По ней же сделаны, например, чипы для билетов московского метро. Наличие EEPROM полезно для таких применений, как встраиваемые микроконтроллеры, нужные не только для космоса, но и для «гражданских» применений.

2) 250 нм кремний на изоляторе (КНИ) – по этой технологии уже ведутся отдельные разработки. Технология, представляет собой частичный порт 180 нм на пластины кремния на изоляторе. Дизайн-киты доступны разработчикам.

3) 180 нм КНИ – заявлена 2012-м годом, на практике о ней уже достаточно давно ничего нового не слышно. То есть она в разработке, но когда именно будет готова для проектирования – не очень понятно.

4) 90 нм объемная. Совсем недавно «Микрон» лицензировал у Cadence софт для физической верификации для этой технологии.

«Ангстрем» (и «Ангстрем-Т»), Зеленоград.

1) 1,2 мкм кремний на сапфире (КНС) – уже довольно старая технология, но она до сих пор востребована (военными заказчиками для микросхем с высокой радиационной стойкостью, для которых надежность и проверенность решений важна).

2) 0,6 мкм, объемный кремний, кремний на сапфире, кремний на изоляторе, возможность изготовления EEPROM, BiCMOS, IGBT.

3) «Создаваемые» технологии с проектными нормами 350-250 нм.

4) «Создаваемые» технологии с проектными нормами 130, 110 и 90 нм.

История «создания» технологий на «Ангстреме» долгая, трудная. Процесс и оборудование 130 нм были куплены у AMD, 90 нм – у IBM.

Практика показала невозможность изготовления радиационнстойких схем на технологиях меньше 250 нм.

НИИ системных исследований РАН, Москва.

Фабрика НИИСИ РАН находится на территории Курчатовского института в Москве и обладает технологиями с проектными нормами 500, 350 и 250 нанометров на пластинах объемного кремния и КНИ. Изначально не предназначена для крупносерийного производства и позиционируется как «исследовательская фабрика Академии наук». Большинство производимых здесь микросхем разработаны самим НИИСИ, однако фабрика работает и с внешними заказчиками, например, с воронежским НИИЭТ, который производит здесь свои радиационностойкие микроконтроллеры.

«Интеграл», Минск.

Минский «Интеграл» считается нашими военными и прочими инстанциями отечественным предприятием со всеми вытекающими обстоятельствами.

Основные технологии «Интеграла» – старые, с проектными нормами 0,8 мкм и больше, однако в последние несколько лет белорусы самостоятельно спроектировали и запустили технологии 0,5 и 0,35 мкм на объемном кремнии и КНИ. У них всего три металла (что мало для микропроцессора), однако «Интеграл» разрабатывает на них микросхемы SRAM с емкостью 1 Мбит и высокой радиационной стойкостью, а также аналоговые микросхемы.

В докладах с научных конференций фигурируют также технологии 0,18 мкм и 0,5-0,25 мкм BiCMOS, флэш-память и FRAM.

Подавляющее большинство (если не все) разработок на своих технологиях «Интеграл» ведет самостоятельно.

«Миландр», Зеленоград.

ЗАО ПКК «Миландр», базирующийся в Зеленограде – компания с двадцатилетней историей и, что более важно для нас, с самым подробным среди всех российских микроэлектронных компаний сайтом.

Среди их продукции представлены:

1645PY2T – статическое ОЗУ (SRAM) емкостью 64 Кбит. В серийном производстве с 2008 года.

1645PY5Y – статическое ОЗУ (SRAM) емкостью 4 Мбит. ОКР заканчивается в 2014 году.

Судя по годам выпуска, первая микросхема выпускается на какой-то совсем старой технологии, вторая – 180 нм.

Также существуют радиационностойкие 8-битные микроконтроллеры 1886BE10 (аналог PIC17).

Технология – микроновские 180 нм, по радиостойкости полный фарш из кольцевых транзисторов и многотранзисторных запоминающих элементов. По предполагаемым данным, микросхема с такими методами защиты должна выдерживать ядерный взрыв, не то, что долговременный полет в космосе.

1645PT2У – однократно программируемое ПЗУ (antifuse) емкостью 256 кбит. ОКР сдан в 2013 г.

Проектные нормы – 680 нм.

5576PT1У – однократно программируемое ПЗУ (antifuse) емкостью 1 Мбит. ОКР сдан в 2013 г. Проектные нормы, скорее всего, 180 нм (технология «Микрона»).

Для других микросхем «Миландра» радиационная стойкость не заявлена, однако, можно найти такую строчку: «Обновлены параметры стойкости к спецфакторам для микросхемы 1310ПН1У (значительно улучшены)». 1310 – это индуктивный преобразователь питания, для которого радиационная стойкость не заявлена. Если все микросхемы, поставляемые с пятой приемкой, имеют хотя бы какую-то стойкость к радиации, то у «Миландра» есть еще довольно широкий набор микросхем интерфейсов, управления питанием и АЦП/ЦАП.

Перспективная разработка «Миландра» – их первый радиационностойкий и сбоеустойчивый микропроцессор. Он пока что не имеет собственного обозначения и презентуется на различных конференциях под именем «Обработка-13». Есть интересные и спорные решения, но выглядит впечатляюще.

Процессор – двухъядерный ARM Cortex-M4F с режимами раздельной работы ядер и аппаратным дублированием. Тактовая частота – 100 МГц, SRAM 32 кбайт, ПЗУ 128 кбайт, широкий набор интерфейсов и аналоговой периферии.

Производиться «Обработка-13» будет на немецкой фабрике XFAV.

НПЦ «Элвис», Зеленоград

«Элвис» в настоящее время активно продвигает собственную продукцию в космическую отрасль, активно сотрудничая с заводом «Микрон» в части технологии и с НИИ «Субмикрон» в части производства космической аппаратуры. Также «Элвис» участвует в международной рабочей группе по разработке стандарта передачи данных SpaceWire, на который в ближайшей перспективе переходит Европейское космическое агентство и, возможно, Роскосмос.

Пробная ласточка «Элвиса» в части аэрокосмических применений – микросхема памяти 1657PY1Y (SRAM 4Мбит), изготовленная по зарубежной технологии 250 нм.

В параметрах радиационной стойкости можно найти вот что: «суммарная накопленная доза 330 крад, КТЗ 500 крад», а в параметрах, записанных в факторах согласно ГОСТ, цифра другая. Не известно какая именно цифра, потому что этот ГОСТ – секретный, в отличие от аналогичных стандартов американских. Кроме того, ходят слухи, что испытания первых микросхем проводились по каким-то специально обученным методикам, так что в том, что все работает действительно хорошо.

1892BM8Я – двухъядерный процессор с ядром общего назначения (совместимо с MIPS-32) и ядром цифровой обработки сигналов. Тактовая частота 80 МГц, 480 MFLOPs при вычислениях с плавающей точкой, широкий набор интерфейсов – итого достаточно серьезная машина получается. Технология, как и предыдущей схемы памяти, 250 нм КМОП (зарубежная).

Сейчас «Элвис» разрабатывает несколько аналогичных процессоров на микроновских технологиях 180 нм и 250 нм КНИ, но результаты еще не пошли в серию. Разрабатываемый комплект микросхем «Мультиборт», который бал представлен на выставке «Новая электроника».

В комплекте обозначено более двадцати микросхем с годом начала выпуска вплоть до 2014-го: микропроцессоры, АЦП, контроллеры внешних устройств и коммутаторы, позволяющие полностью организовать сеть передачи данных на борту космического аппарата.

После отработки решений на зарубежных фабриках «Элвис» делает все перспективные микросхемы полностью в России на «Микроне» (проектные нормы 180 и 90 нм).

НИИСИ РАН, Москва.

НИИ системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН) имеет самый большой опыт среди российских разработчиков процессоров для космоса (с 2001 года) и выпускает серию микропроцессоров с системой команд «КОМДИВ» (имеющей определенное сходство с MIPS32).

5890VE1T (КОМДИВ32-С) – 32-битный микропроцессор с встроенным интерфейсным контроллером, 33 МГц, технология 500 нм КНИ. Судя по открытым источникам, давно и успешно летает в системах управления космических аппаратов.

5890BM1T – 32-битный микропроцессор с повышенной стойкостью к одиночным сбоям. 33 МГц, 500 нм КНИ.

5890BG1T – двухканальный интерфейсный контроллер интерфейса MIL-STD-1553.

1900BM2T (Резерв-32) – 32-битный микропроцессор с аппаратным троированием на уровне составных частей ядра и защитой от одиночных сбоев. Тактовая частота 66 МГц, технология 350 нм.

Статическое ОЗУ (SRAM) 1 Мбит, время обращения 30 нс. Технология КНИ 350 нм.

Четыре процессора, указанных выше, производятся серийно, а на 2014 и 2015 год заявлено начала выпуска еще четырех процессоров.

1907BM014 – 32 бита, частота 100 МГц, технология 250 нм. На кристалле системный контроллер, SpaceWire, Ethernet и интерфейс MIL-STD-1553.

1907BM038 – 32 бита, частота 125 МГц, технология 250 нм. На кристалле интерфейсы SpaceWire и Serial RapidIO.

1907BM044 – 32 бита, 66 МГц, 250 нм, встроенный системный контроллер, троирование ядер и повышенная стойкость к одиночным сбоям, SpaceWire.

1907BM028 – 64 бита, 150 МГц, 250 нм, встроенный системный контроллер, два уровня кэш-памяти (у остальных – один), Serial RapidIO, Ethernet.

У всех процессоров НИИСИ, выполненных на технологии КНИ, стойкость к полной поглощенной дозе, достаточная для космических применений, отсутствует тиристорный эффект, а также применены (у всех, кроме 5890BE1T) специальные меры для повышения стойкости к одиночным сбоям (коды Хэмминга в кэш-памяти, специальные ячейки SRAM, аппаратное троирование на уровне составных блоков ядра процессора).

Кроме того, у НИИСИ есть еще вот такой ОКР: «Разработка 128-разрядного высокопроизводительного микропроцессора на структурах КНС/КНИ 0,25 мкм, совместимого с архитектурой КОМДИВ, для систем цифровой обработки сигналов», шифр «Схема-10». То есть это уже не 32 или 64 бита, а целых 128. Работа начата в 2012-м году.

НТЦ «Модуль», Москва.

«Модуль» производит DSP процессоры с собственной оригинальной архитектурой и вычислительные модули на основе своих и чужих процессоров, в том числе для космических применений.

Главная собственная микросхема «Модуля» DSP Neuromatrix (Л1879ВМ1). Тактовая частота 40 МГц, технология 0,5 мкм (Samsung).

Микросборка 2605ВГ1Т – логика и приемопередатчик интерфейса MIL-STD-1553 со встроенной памятью.

1895ВА1Т – логическая часть контроллера канала интерфейса MIL-STD-1553.

1879ВА1Т – интерфейсный контроллер для связи вычислительного процессора с интерфейсом MIL-STD-1553.

НИИМА «Прогресс», Москва.

НИИМА «Прогресс» является одним из головных разработчиков приемников и передатчиков ГЛОНАСС.

5512БП2Ф – система на кристалле с микропроцессорным ядром и базовым матричным кристаллом, программируемым под нужды пользователя. Технология 180 нм («Микрон»), рабочая частота процессора 150 МГц, арифметического сопроцессора 50 МГц. Процессорное ядро – «Кварк» компании КМ211.

«СБИС с МП ядром СнК Алмаз-9» – тот же самый набор периферии с другим ядром и на технологии КНИ 240 нм («Микрон») для повышения радиационной стойкости. Завершение ОКР в 2014 году.

Дизайн-центр «Союз», Зеленоград.

ДЦ «Союз» разрабатывает аналого-цифровые базовые матричные кристаллы на базе «микронской» технологии КНИ 0,24 мкм. Завершение ОКР намечено на 2014 и 2015 год.

5400БК1Т, 5400БК2У – общего назначения. 110к цифровых вентилях, 50к «аналоговых» транзисторов, 56 ОУ, 56 компараторов, 6 АЦП, 6 ЦАП, источник напряжения и другие блоки.

5400ТР014 – прецизионный. 110к цифровых вентилях, 10к «аналоговых» транзисторов, 3- ОУ, 2 АЦП, 2 ЦАП, 2 УВХ, источник напряжения и т.д.

Базовый матричный кристалл – это микросхема из базовых ячеек без нескольких верхних слоев металлизации, при помощи которых ячейки можно соединить нужным заказчику образом. Этакий допотопный аналог ПЛИС. До сих пор востребованы, что характерно.

НПК «Технологический центр» МИЭТ, Зеленоград.

НПК «Технологический центр» МИЭТ работает с «Микроном» и имеет собственную фабрику с проектными нормами 1,5 мкм, на которой они успешно делают радиационностойкие микросхемы малой степени интеграции и базовые

матричные кристаллы, а также полузаказные СБИС на основе этих БМК – контроллеры интерфейсов, внешних устройств, приемопередатчики и т.д.

«Мультиклет», Екатеринбург.

Уральская компания «Мультиклет», развивающая собственную оригинальную процессорную архитектуру, анонсировала выход в 2015-м году радиационностойкого четырехъядерного микропроцессора. Других подробностей пока нет, производство планируется за границей.

КТЦ «Электроника», ВЗПП-С, ВЗПП-Микрон, Воронеж.

Воронежские предприятия – осколки огромного некогда НПО «Электроника» и Воронежского завода полупроводниковых приборов (ВЗПП). Его отдельные части продолжают работать и сейчас, но разделить, кто чем занимается, довольно сложно, потому что информации очень мало, а данные в даташитах частично пересекаются. Три предприятия – КТЦ «Электроника» и две инкарнации Воронежского завода полупроводниковых приборов – ВЗПП-С (с – это сборка) и ВЗПП-Микрон.

Основную продукцию всех трех предприятий составляют ПЛИС и микросхемы малой степени интеграции. Со вторыми все более-менее ясно: это производимые, наверное, еще с советских времен (на соответствующих проектных нормах) дискретные элементы силовой электроники и логические микросхемы серий 1504, 1505 и т.д.

С ПЛИС все интереснее, потому что они очевидно предназначены для импортозамещения продукции компании Altera, с которой они программно совместимы. Разрабатывает их, судя по всему, КТЦ «Электроника».

Емкость двух обозначенных на сайтах ПЛИС составляет 50к и 200к вентилей, производятся они на немецкой фабрике XFAB. Еще несколько ПЛИС, стойких к воздействию радиации сейчас разрабатывается на базе технологий «Микрона».

НИИЭТ, Воронеж.

Еще одно воронежское предприятие, работающее для космической промышленности – ОАО «НИИ Электронной техники» (НИИЭТ).

НИИЭТ разрабатывает широкий набор микроконтроллеров (8-бит MCS-51, AVR, 16-бит MCS-96, C166), DSP (аналоги Texas Instruments), АЦП/ЦАП и других. Производство, судя по заявленным возможностям предприятия – на XFAB.

В каталоге предприятия три радиационностойких микросхемы:

1830BE32Y/1830BE32AY – 8 бит, 12/16 МГц, 256 байт ОЗУ (аппаратно троированного), ПЗУ нет, функциональный аналог Intel 80C51FA.

1874BE05T – 16 бит, 20 МГц, 488 байт SRAM, функциональный аналог Intel 196.

Все радиационнотойкие микросхемы, в отличие от обычных аналогов, производятся в России, на фабрике НИИСИ РАН по технологии 0,5 мкм КНИ.

В таблице перспективных радиационнотойких разработок на ближайшие два года почти десяток позиций, самые интересные из которых – семейство ЦАП, два DSP и микропроцессор с архитектурой SPARC (аналог широко применяемых как в Европе, так и в России процессоров LEON3, поставки которых в Россию совсем недавно прекратились). Удивительно кстати то, что этот процессор делает НИИЭТ, а не например Московский центр SPARC-технологий (МЦСТ) [2].

K1830BE32Y – микроконтроллер отечественного производства Воронежского завода «НИИЭТ» С устойчивостью к специальным внешним воздействующим факторам без ПЗУ с мажорированием ОЗУ представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 - микроконтроллер K1830BE32Y

Представленный микроконтроллер представляет собой 8-разрядное устройство, обладающее полной совместимостью по выводам и системе команд с отечественными аналогами H1830BE31Y и H1830BE51, которые находятся в

серийном производстве. Данная микросхема является функциональным эквивалентом указанных моделей.

Основные сферы применения:

1. Встроенные системы управления радиосвязью.
2. Бортовые цифровые системы управления.
3. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.
4. Робототехнические комплексы.
5. Системы управления электроприводами.
6. Телекоммуникационное оборудование.
7. Вычислительная и оргтехника.
8. Средства оповещения и сигнализации.

Устройство предназначено для эксплуатации в условиях повышенных требований к устойчивости при воздействии специальных внешних факторов.

Технические параметры:

1. Архитектурная основа: MCS-51.
2. Максимальная тактовая частота: 12 МГц.
3. Объем оперативной памяти: 256 байт (с тройным резервированием).
4. Поддерживаемые интерфейсы: UART.
5. Рабочее напряжение питания: 5 В ($\pm 10\%$).
6. Потребляемый ток: не более 25 мА.
7. Рабочий температурный диапазон: от -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
8. Конструктивное исполнение: корпус типа H16.48-2В.
9. Нормативно-техническая документация: ТУ АЕЯР.431280.378ТУ.

Микроконтроллер демонстрирует высокую надежность работы в экстремальных условиях эксплуатации, что делает его оптимальным решением для ответственных применений в различных отраслях промышленности и специальной техники.

Также существует 1882BE53УМ – микроконтроллер с ПЗУ типа Flash, который представлен на рисунке 2.



Рисунок 3 - микроконтроллер 1882BE53УМ.

Данный микроконтроллер представляет собой 8-разрядное устройство с Flash-ПЗУ, позволяющим производить программирование непосредственно в системе через SPI-интерфейс. Полностью совместим с архитектурой 80C51 по системе команд и функциональному назначению выводов.

Основные области применения:

1. Системы управления радиосвязными комплексами.
2. Автоматизированные системы управления производственными процессами.
3. Управление электроприводами.
4. Робототехнические системы.
5. Телекоммуникационное оборудование.
6. Вычислительные устройства и оргтехника.

Технические параметры:

1. Архитектурная основа: MCS-51.
2. Рабочая частота: до 24 МГц.
3. Объем памяти:
 - а) ОЗУ: 256 байт.
 - б) Flash-память (программная): 12 Кбайт.
 - в) EEPROM (хранение данных): 2 Кбайт.
4. Адресное пространство: 64 Кбайт.
5. Коммуникационные интерфейсы:
 - а) SPI.
 - б) UART.
6. Параметры питания:

- а) Напряжение: 5 В ($\pm 10\%$).
 - б) Потребляемый ток: 25 мА.
7. Эксплуатационные характеристики:
- а) Рабочий температурный диапазон: от -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
8. Конструктивное исполнение: Корпус Н16.48-2В5133.48-3.
9. Нормативная документация:
- а) ТУ АЕЯР.431280.286ТУ.
 - б) ТУ АЕЯР.431280.286-02ТУ.

Микроконтроллер отличается высокой степенью интеграции и надежностью, что делает его оптимальным решением для построения современных систем управления в различных отраслях промышленности. Возможность внутрисистемного программирования через SPI-интерфейс значительно упрощает процесс разработки и модернизации устройств на его основе [3].

Список литературы

1. Зольников, К.В. Проектирование радиационно-стойких микросхем / К.В.Зольников // Материалы международной конференции «Системные проблемы надежности, качества, компьютерного моделирования, кибернетических, информационных и телекоммуникационных технологий в инновационных проектах». - 2013. -Часть 1. - С.51 - 52.
2. Научно исследовательский институт электронной техники (НИИЭТ). Микроконтроллеры K1830BE32Y и 1882BE53UM [сайт] <https://niiet.ru/>.
3. Отечественные производители и разработчики микроэлектроники с защитой от радиации. [сайт] <https://habr.com/ru/articles/217427/>.

References

1. Zolnikov, K.V. Design of radiation-resistant microcircuits / K.V.Zolnikov // Proceedings of the international conference "Systemic problems of reliability, quality, computer modeling, cybernetic, information and telecommunication technologies in innovative projects". - 2013. - Part 1. - pp.51-52.
2. Scientific Research Institute of Electronic Technology (NIIET). K1830BE32Y and 1882BE53UM microcontrollers [website] <https://niiet.ru/>.
3. Domestic manufacturers and developers of microelectronics with radiation protection. [website] <https://habr.com/ru/articles/217427/>.