

Технологии жизнеобеспечения электроники космического класса

А. А. Елисеева^{1}, Е. Г. Бобылева¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: enastusya@gmail.com

Аннотация. Наука и техника развивается в XXI веке со скоростью, несравнимой относительно той, что была когда-либо ранее. Электроника достигает наименьших размеров для различных классов потребителей. На коммерческом рынке тенденция замены существующего оборудования на современное осуществляется в рамках полугода. Но в космическом пространстве все иначе, надежность является лидирующим фактором, который обеспечить в условиях агрессивного космического пространства сложно. Заряженные частицы, рожденные солнечными космическими лучами или галактическими космическими лучами, могут приводить к сбоям электроники, ошибкам в данных памяти или отказу в работоспособности. Данное исследование посвящено выявлению наиболее агрессивных факторов космического пространства на электронику. С помощью анализа существующих систем сравниваются различные технологии, используемые в наземных и космических условиях.

Ключевые слова: техника, электроника, космос, технологии

Category of outer space electronics life support technologies

A. A. Eliseeva^{1}, E. G. Bobileva¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation,

* e-mail: enastusya@gmail.com

Abstract. Science and technology are developing in the 21st century at a speed that is incomparable with respect to what has ever been before. Electronics reaches the smallest sizes for various classes of consumers. In the commercial market, the trend is to replace existing equipment within six months. But in outer space everything is different, reliability is the leading factor, which is difficult to ensure in the conditions of aggressive outer space. Charged particles produced by solar cosmic rays or galactic cosmic rays can cause electronics to fail, errors in memory data, or malfunction. This study is devoted to identifying the most aggressive factors of outer space on electronics. By analyzing existing systems, various technologies used in terrestrial and space environments are compared.

Keywords: technique, electronics, space, technology

Введение

Мы, Земляне, продолжаем осваивать космическое пространство и стремимся к дальнему космосу. На 2022 год развитие технологий достигает своих пиковых значений, реализация новых идей занимает короткие промежутки времени, а объемы информации измеряются в зеттабайтах. Но в прогрессии развитие пойдет на спад, уже сейчас стоит вопрос о применимости закона Мура в электротехнической среде. Во избежание нехватки научного сознания в массах различные страны привлекают внимание к проблемам космического характера детей школьного возраста и молодых специалистов – студентов.

Новые технологии являются возможностью заявить о себе в постоянно сменяющемся мире, чем обусловлено привлечение новых молодых взглядов. Востребованность в разработчиках на различных языках программирования, разработчиках электроники, конструкторов и расчетчиков растет.

Создание нового в условиях современного мира предполагает основополагающие знания различных областей науки и техники. В юном возрасте поколению детей двадцать первого века необходимо не только получить базу, включающие в себя компетенции естественных и технических наук, но и научиться пользоваться своими творческими способностями, видеть и преобразовывать уже созданное в новом ключевом составе.

Космическая эра началась чуть более половины века назад. Она нова. Ее методы первозданны. Переосмысление ценностей в космосе уже началось: примером того являются космические миссии, связанные с выводением на околоземные орбиты аппаратов, разработанных детьми подросткового возраста или молодыми людьми. Такие аппараты, как правило, нарушают стандартные пути организации космических миссий: их научная нагрузка небольшая, чаще всего ее специализация обозначена сбором данных в единственном формате, время разработки таких аппаратов – в сравнении со старой школой – несоизмеримо мало, а стоимость комплекса разработки не составляет невообразимых цен. Cubesat-малоформатные спутники, выводимые на околоземные низкие орбиты для популяризации космоса в разных странах. В России подобная программа поддерживается фондом содействия инновациям, группировкой space-π и другими [1].

Технологиям, разрабатываемым на Земле, прежде чем применяться за ее пределами, всегда необходимо было пройти адаптацию. Целью данной работы является аналитическое и практическое сравнение подходов к разработке электроники в условиях наземных и космических. Сопутствующие задачи: сбор данных о технологиях, используемых в земном пространстве, и их космических аналогов; выделение факторов воздействия, влияющих на применение технологий; определение границы требований между электроникой двух классов; практическое сравнение существующих устройств.

Космос, все еще, далек. Именно поэтому данная работа актуальна. Она направлена на популяризацию космоса, его освоение массами. Информация, изложенная в данном тексте, доступна для обывателя, ранее не сталкивающегося со спецификой разработки в космической отрасли деятельности человека.

В ходе работы проанализированы аппараты, предназначенные для съемки поверхности Земли: спутники, предназначенные для дистанционного зондирования и мультикоптеры, выполняющие ту же функцию, но в тропосфере. Малоформатный спутник «ОРБИКРАФТ-ЗОРКИЙ» работает на низких орбитах, поэтому требования к его электронике не максимальные. Компания-разработчик на официальном сайте представляет необходимые характеристики [2]. Мультикоптеров для аэро-съемки на коммерческом рынке гораздо больше, здесь рассматриваются представители Geoscan, Superscan [3-4]. Но их электронные компоненты не анонсированы, поэтому сравниваются электрические составляющие компании Спутникс и популярные контроллеры для разработки беспилотных летательных аппаратов.

Важнейшее отличие электроники прошлого века и современности – проектные нормы разработки. Современные интегральные схемы получают печатью с нормами в 14 нм. В космическом классе электроника стремится к этим же значениям, но чаще используются проверенные, наиболее надежные нормы. Так, нормы в диапазоне от 100 до 500 нанометров считаются в десятки раз устойчивее к радиации [5]. Процессор RAD750, на котором летают сотни космических аппаратов, имеет преемника RAD 5500 с технологическими нормами 45 нм [6].

Наибольшее количество информации по изучаемой теме было получено из пособия по космическому материаловедению Л. С. Новикова [7], а также с помощью электронных ресурсов официальных сообществ Спутникс, NASA, ВAE Systems и научному сообществу habr.

Методы и материалы

Методологическая основа исследования заключается в сборе данных, анализе и классификации их, синтезировании, аналогии и моделировании.

Первая часть работы – это подготовка к написанию статьи, сбор информации. Изучение научных текстов, методических пособий, результатов практической работы существующих компаний. В объеме полученных данных выделены основные понятия, необходимые для работы.

Вторая часть работы основана на анализе, выделении сравнительных характеристик рассматриваемых сред, условий, используемых технологий.

В третьей части методом моделирования электронных компонентов сравниваются их характеристики.

Результаты

Космическая среда намного агрессивнее земных условий, основные факторы, влияющие на работоспособность и жизнеустойчивость электронных компонентов и электроники в целом, представлены в табл. 1 [1, 8].

Разработка устройства, предназначенного для полета в космос, должна начинаться с понимания того, для чего это устройство туда летит. Исходя из назначения рассчитывается траектория, по которой будет лететь аппарат в процессе своего жизненного цикла. Далее разработчику необходимо заложить составляющие, выбрать архитектуру и начать заниматься подбором материалов. На этом же этапе закладывается диапазон времени, в котором будет работать аппарат.

Электротехнические компоненты являются неотъемлемой частью любого космического аппарата. Они выступают в качестве базовых, от которых в дальнейшем производятся расчеты нагрузок, возможных модификаций.

Бортовая электроника должна выбираться с учетом ранее перечисленных факторов. Космос по-разному воздействует на один и тот же аппарат в разных своих частях. Поэтому, можно выделить следующие локализации космических аппаратов: околоземное (низкие, средние, высокие орбиты и магнитосфера) и межпланетное пространства.

На низких орбитах аппараты защищены магнитосферой, не подвержены попаданию тяжелых заряженных частиц, поэтому электроника, устанавливаемая

в космический аппарат, не всегда соответствует по устойчивости факторам, представленным в табл. 1. В качестве примера можно привести использование космонавтами на орбите электроники коммерческого класса: фотоаппараты, ноутбуки. Сейчас, спутники малого формата, выводимые на низкие орбиты, могут запускаться с использованием интегральных схем, изначально разрабатываемых на наземную целевую аудиторию. Но существуют различия в использовании электроники наземного и космического классов:

1. энергозапас;
2. время разработки научной миссии;
3. температурный режим;
4. радиационная стойкость;
5. разработка единичных технологических решений.

Таблица 1

Факторы космического пространства	Вызываемые эффекты
<p>Факторы поверхностного воздействия:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ космический вакуум; ◆ поток атомарного кислорода верхней атмосферы Земли; ◆ собственная атмосфера космического аппарата; ◆ заряженные частицы низкой энергии (частицы холодной, и горячей магнитосферной плазмы и плазмы солнечного ветра); ◆ солнечное УФ-излучение; ◆ микрочастицы метеорной материи и космического мусора 	<p>Сублимация материалов, эрозия и потеря массы; изменение механических, оптических и электрофизических свойств материалов; фотоэлектронная эмиссия; нагрев, термоциклирование; заряджение материалов; токи утечки; радиационные эффекты</p>
<p>Проникающие факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ электроны и ионы радиационных поясов Земли, солнечных и галактических космических лучей; ◆ крупные частицы метеорной материи и космического мусора 	<p>Радиационные эффекты; локальные радиационные повреждения; сбои в элементах микроэлектроники; сквозные пробойи стенок; эмиссионные явления, инициирование электрических разрядов</p>

В табл. 2 представлено сравнение технологий борьбы электроники с угрозами жизнедеятельности электроники в космических условиях и наземных [9 - 12].

Таблица 2

Название	Коммерция	Космос
Механические нагрузки	Минимальны, не требуют внимания	Технологии с использованием компаунда, инкапсуляция, иные специальные (единичные) решения
Температурный режим	Массовые микросхемы на диэлектрике	Радстойкие микросхемы, металлокерамический корпус
Радиация	Минимально, не предусмотрено	Микросхемы с технологиями SOS (SOI), triple-well process, экранирование (для НОО)

На рис. 1 представлены две интегральные схемы, используемые в аппаратах одинакового функционального назначения, но реализуемых в условиях космоса и Земли.

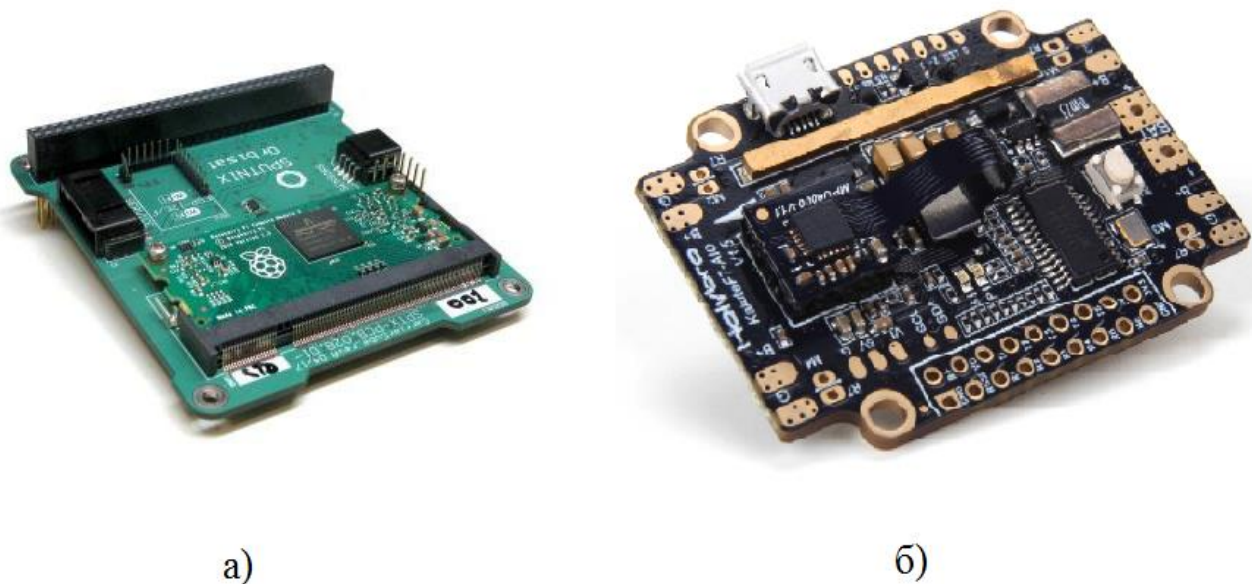


Рис. 1. Микросхемы:
а) SXC-MB-04; б) Kakute F7

В результате использования одних технологий могут пострадать другие. Так в табл. 3 приведено сравнение изменения основных параметров микросхем.

Таблица 3

Параметры	SXC-MB-04	Kakute F7	МАТЕК F405-CTR
Габаритные размеры, мм	86,2x93,6x14	35x48x7	36x36x7
Масса, г	55	11,2	10
Стоимость, \$	–	50	50

Обсуждение

Выявлены факторы воздействия космической среды на электронику. Границы разработки электроники для космического и коммерческого класса становятся более размытыми, так как космос популяризуется, а экспериментальные запуски подвергаются рискам. Вертолет Ingenuity, отправленный на Марс в рамках миссии Марс-2020 выступает в качестве примера, его добавили на последних годах разработки миссии, а основная интегральная схема является известным представителем потребительского класса смартфонов [13, 14].

Заключение

В результате проведенного исследования, выявлена потребность в большем количестве информации этой специализации, чем и занимаются различные кластеры по продвижению науки в массы. Без конкурентноспособного рынка невозможно развитие в том темпе, который диктует двадцать первый век.

Коммерческий класс электроники успешно реализуется в условиях космического пространства, но это новое направление, которое недостаточно изучено. Переоценка основных вкладов должна открыть человечеству новые горизонты, дать развитие новым технологиям или иному применению уже созданных.

Электроника все также остается хрупкой и требующей особого внимания, но и она идет на компромисс с понижением запроса на длительность полета и научную нагрузку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Н. В. Радиационная опасность на околоземных орбитах и межпланетных траекториях космических аппаратов. – Текст: электронный. – URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/crd/crd3.htm> (дата обращения: 04.05.2022).
2. СПУТНИКС [официальный сайт] / СПУТНИКС. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://sputnix.ru> (дата обращения: 10.05.2022). – Текст: электронный.
3. GEOSCAN [официальный сайт] / GEOSCAN. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.geoscan.aero/ru> (дата обращения: 10.05.2022). – Текст: электронный.
4. SUPERCAM [официальный сайт] / SUPERCAM. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://supercam.aero> (дата обращения: 10.05.2022). – Текст: электронный.
5. Микроэлектроника для космоса и военных – Текст : электронный // [сайт]. – URL :<https://habr.com/ru/post/156049> (дата обращения: 10.05.2022).
6. BAE SYSTEMS : [официальный сайт] / BAE SYSTEMS. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.baesystems.com> (дата обращения: 10.05.2022). – Текст: электронный.
7. Новиков Л. С. Космическое материаловедение : учеб.пособие. – Москва : Макс Пресс, 2014. – 448 с. – Текст : непосредственный.
8. Акишин А. И. Космическое материаловедение : учеб.пособие / А. И. Акишин. – Москва : НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с. – Текст : непосредственный.
9. Радиационные эффекты в космосе. Часть 1. Радиация в околоземном космическом пространстве / И. П. Безродных, А. П. Тютнев, В.Т. Семенов. – Москва : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. – 106 с. – Текст : непосредственный.
10. Радиационные эффекты в космосе. Часть 2. Воздействие космической радиации на электротехнические материалы / И. П. Безродных, А. П. Тютнев, В. Т. Семенов. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – 122 с. – Текст : непосредственный.
11. Радиационные эффекты в космосе. Часть 3. Влияние ионизирующего излучения на изделия электронной техники / И. П. Безродных, А. П. Тютнев, В. Т. Семенов. – Москва: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 64 с. – Текст : непосредственный.
12. Заметка о специфике разработки электроники в космической отрасли. – Текст : электронный // [сайт]. – URL : <https://habr.com/ru/post/557986/> (дата обращения: 10.05.2022).
13. Jet Propulsion Laboratory [официальный сайт] / Jet Propulsion Laboratory. – Калифорния. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.jpl.nasa.gov> (дата обращения: 10.05.2022). – Текст: электронный.
14. Проект программы «Дежурный по планете» [официальный сайт] / Space-п. – Текст : электронный. – URL : <https://spacepi.space> (дата обращения: 10.05.2022).

© А. А. Елисеева, Е. Г. Бобылева, 2022