

**Высоконадежный бортовой вычислитель  
для малых космических аппаратов**

А.С. Злобин, С.А. Подшивалов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Последние годы в космической индустрии отмечается значительный рост рынка малых космических аппаратов (МКА) [1]. Данный тренд объясняется развитием элементной базы и появлением технической возможности использования индустриальных электронных компонентов вместо компонентов военного или космического исполнения [2]. Применение индустриальной элементной базы значительно уменьшает стоимость бортовой аппаратуры, а также ускоряет процесс разработки, так как электронные компоненты всегда находятся в свободной продаже для любых компаний из любых стран. Но построение бортовой аппаратуры (БА) на индустриальных компонентах влечет за собой очень серьезную проблему радиационной стойкости, которая является главным тормозом дальнейшего широкого распространения таких решений.

Проведенный ряд исследований и последующий процесс проектирования позволил создать компактный, высоконадежный и недорогой бортовой вычислитель для МКА. Архитектура бортового вычислителя построена на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) с синтезированным внутри сбое устойчивым процессором. Также в приборе реализована многоканальная система предотвращения деструктивного воздействия тиристорного эффекта. Проведенные радиационные испытания показали порог деградации наиболее подверженных компонентов равный 10 кРад. Разработанные решения в совокупности с 3 мм корпусной защиты должны обеспечить 5 лет бесперебойной работы на околоземных орбитах.

Одной из важнейших стадий разработки аппаратуры космического применения являются предполетные испытания. Разработанный бортовой вычислитель прошел полный цикл тестирования для подтверждения качества и соответствия поставленным задачам. Перечень проведенных испытаний представлен ниже:

1. Рентген-контроль для проверки качества изготовления
2. Функциональный контроль
3. Термоциклические испытания
4. Вакуумные испытания
5. Вибрационные испытания
6. Радиационные испытания

Совмещение функционального контроля с температурными и вакуумными испытаниями позволяют выявить слабые места в архитектуре прибора в экстремальных условиях. Для проведения части испытаний использовалась специализированная система функционального контроля, разработанная для нужд оперативного тестирования подобных приборов.

Методы и технические решения, примененные в представленном вычислителе, дают возможность сделать большой шаг вперед в разработке недорогого оборудования с высокими показателями надежности. Опираясь на опыт создания прибора, в данный момент ведется разработка нового дублированного бортового вычислителя. Такая система может работать в режиме холодного или горячего резервирования. При этом, если рассмотреть вероятность безотказной работы на уровне 0,995 то дублированная конфигурация повышает надежность более чем в 15 раз при увеличении стоимости всего в 2. Данное техническое решение и постоянно развивающиеся методы повышения радиационной стойкости позволят в будущем создать бортовой вычислитель для верхней границы околоземных орбит с временем активного существования более 10 лет.

#### Литература:

[1] The Tauri Group. State of the Satellite Industry Report. Sattelite Industry Association September 2015, <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2015/06/Mktg15-SSIR-2015-FINALCompressed.pdf>

[2] *К.И. Танеро, В.Н. Улимов, А.М. Членов.* Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012