

**СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ
В СОСТАВЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С УВЕЛИЧЕННЫМ
СРОКОМ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ**

И. В. Ползунов, А. А. Родионов, В. А. Шокоров

Введение

Рынок по предоставлению услуг сотовой связи и широкополосного доступа в интернет является динамично развивающейся отраслью мировой экономики, и, как следствие, услуги по разработке, запуску и обслуживанию группировки спутников становятся наиболее востребованной отраслью в ракетно-космической промышленности. Мировые тенденции создания и пусков космических аппаратов (КА) показывают ежегодное увеличение массы и энерговооруженности спутников связи, а также увеличение сроков активного существования (САС), что вполне объяснимо с точки зрения снижения затрат на развертывание и обслуживание группировки спутников. Увеличение энерговооруженности и САС КА влечет за собой ряд технических проблем их разработки.

***Анализ основных технических проблем создания датчиков
для КА с увеличенной энерговооруженностью и САС***

Несмотря на то, что Россия является ведущей космической державой, конкуренция в области разработки и производства спутников различного назначения велика и продолжает расти. В таких условиях вопрос повышения конкурентоспособности отечественной космической техники стоит особенно остро. Основной технической проблемой является низкий технологический уровень большинства отечественных КА. Это подтверждает проведенный анализ мировых тенденций развития спутников связи и вещания, который показал отставание отечественных спутников связи от аналогичных зарубежных по таким важным показателям, как срок активного существования на орбите и количество транспондеров на КА [1, 2].

Увеличение массы полезной нагрузки влечет за собой усложнение сервисной инфраструктуры платформы спутника (подсистем коррекции орбиты, системы обеспечения теплового режима и пр.) и, как следствие, увеличение числа компонентов, входящих в инфраструктуру, в частности различных датчиков (датчиков давления, температуры, тока и пр.), а увеличение САС влечет за собой повышенные требования к показателям надежности компонентов. К датчикам давления в отличие от других типов датчиков, дополнительно к требованиям по вероятности безотказной работы, предъявляются требования по механической надежности, так как они устанавливаются непосредственно в трактах подачи топлива, передачи теплоносителя и т.д. и зачастую могут являться «единой точкой отказа» спутника, поэтому разработка конструктивно-технологических решений, увеличивающих ресурс и безотказность датчиков давления для перспективных КА, является актуальной задачей.

Основными техническими проблемами создания высоконадежных датчиков для эксплуатации в составе КА с длительными сроками существования являются низкое качество применяемых материалов и комплектующих. Число предприятий-производителей конструкционных материалов и ЭРИ в России снижается, по некоторым материалам остались единственные заводы-производители, производство некоторых материалов утрачено вместе с исчезновением последнего производителя. В современных рыночных условиях производители материалов, в том числе и стратегически важных, с целью снижения затрат на изготовление «удешевляют» технологический цикл, экономят на оборудовании и амортизации, изготавливают материалы не по ГОСТам, а по вновь разработанным техническим условиям, в результате технические характеристики такой продукции существенно ухудшаются, не соответствуют требованиям ТУ на входном контроле, а хуже всего имеют скрытые дефекты.

Дополнительной сложностью при проектировании датчиков для КА с длительным САС являются жесткие условия эксплуатации (воздействие космической радиации, повышенные вибрационные нагрузки в сочетании с резонансными явлениями на этапе выведения КА на орбиту, воздействие пневмо- и гидроудара и пр.).

Способы решения технических проблем создания полупроводниковых датчиков давления для КА с увеличенной энерговооруженностью и САС

При эксплуатации в КА полупроводниковые датчики давления (ПДД) подвергаются воздействию ионизирующих излучений (ИИ) заряженных частиц естественного радиационного поля Земли (ЕРПЗ), галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ). Радиационная стойкость ПДД в основном и определяет его САС и вероятность безотказной работы в КА. Радиационные условия на разных орбитах существенно различаются. Потoki частиц с энергией до 1 МэВ при длительном воздействии на датчики приводят к параметрическим и функциональным отказам, частицы более высоких энергий могут вызвать одиночные сбои [3, 4].

В конструкции современных полупроводниковых датчиков давления применяют металлы и сплавы, диэлектрические материалы, клеи, компаунды, электрорадиоизделия (ЭРИ) и кремний. Конструктивная схема такого датчика приведена на рис. 1. Он содержит защитную металлическую мембрану 1, кремниевый чувствительный элемент 2, керамический вкладыш 3, стеклометаллический гермовывод 4, контактная гермоколodка 5, корпус 6, провода 7, настроечные резисторы 8, печатную плату 9, компаунд 10, кожух 11 и кабель 12 [5].

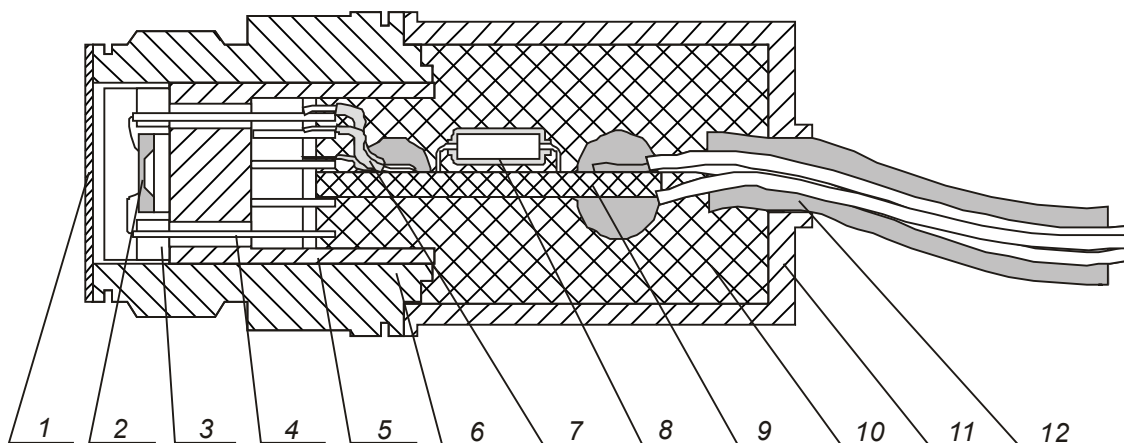


Рис. 1. Конструкция полупроводникового датчика давления

Предлагаемый подход для проектирования полупроводниковых датчиков давления с длительным САС и высокой вероятностью безотказной работы основан на системном анализе критичных элементов конструкции, повышение надежности которых связано:

- с резервированием наиболее ответственных узлов (2-кратное резервирование сварных швов для обеспечения максимальной вероятности неразрушения конструкции);
- функциональным (метрологическим) резервированием измерительного канала (2-, 3-канальные датчики);
- поиском возможностей для исключения конструктивно-сложных элементов или объединения функционально сложных элементов в один;
- введением в конструкцию дополнительных элементов защиты (демпферов) для снижения негативного влияния нестационарных воздействий давления (пневмо- и гидроударов);
- увеличением толщины и плотности деталей, составляющих оболочку датчика;
- дополнительной защитой с применением защитных экранов и оболочек из плотных металлических материалов с высоким коэффициентом торможения и поглощения радиационных потоков;
- применением в качестве приборного слоя широкозонных полупроводниковых материалов [6].

Некоторые критичные элементы конструкции ПДД, которые подлежат системному анализу, изображены на рис. 2.

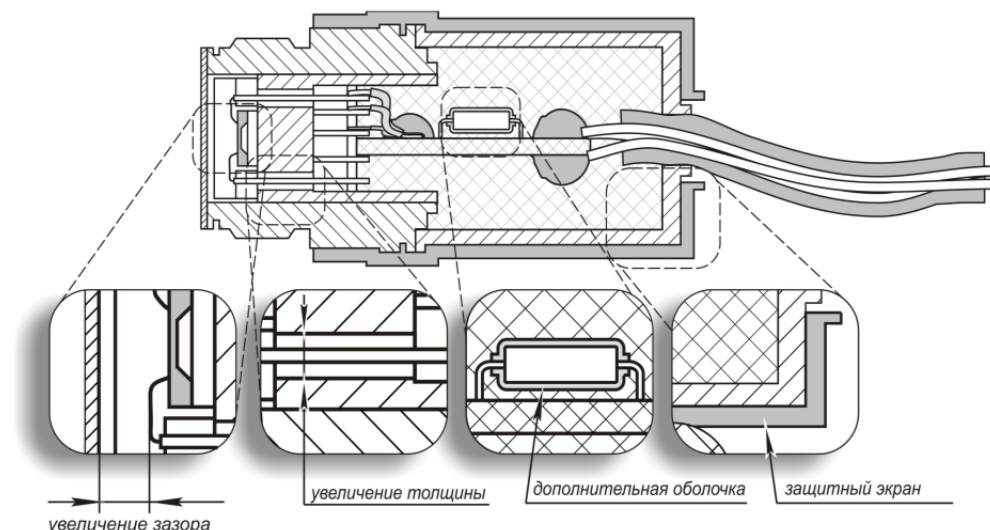


Рис. 2. Основные критичные элементы конструкции полупроводникового датчика давления

Еще одной существенной проблемой создания ПДД является наличие в материалах, применяемых в них, скрытых дефектов. Скрытые дефекты наиболее опасны для ПДД с длительным САС, так как они непрогнозируемы, трудно выявляются на ранних стадиях изготовления, могут постепенно развиваться и проявиться в любой момент эксплуатации, в том числе в полете, когда определение причин отказа прибора уже не представляется возможным.

Для решения проблем, связанных с качеством применяемых материалов и комплектующих, необходимо создание специализированного центра, направленного на разработку и проведение инновационных методик технологических тренировок датчиков, направленных на провоцирование развития скрытых дефектов в материалах и ПКИ, и выявления их на стадии изготовления. В функции данного центра должно включаться проведение дополнительных приемочных испытаний на покупных материалах, позволяющих проверить соответствие требуемых параметров.

Для повышения стойкости ЭРИ на базе такого центра необходимо проводить следующие операции:

- отбор ЭРИ повышенной дозовой стойкости и отбраковка потенциально (аномально) ненадежной на основе анализа измеренных (прогнозируемых) индивидуальных характеристик стойкости и поведения ЭРИ в процессе облучения и отжига;
- определение базовых уровней стойкости типовых классов ЭРИ к дозовым и одиночным эффектам для сокращения объема испытаний и их исключения при предварительном выборе ЭРИ и оценке их стойкости к ИИКП;
- уточнение надежностных характеристик ЭРИ в условиях воздействия ИИКП, реализуемое путем экспериментально-аналитического определения радиационного коэффициента для предварительных надежностных расчетов [7–9].

Список литературы

1. Прохоров, Ю. В. Космические аппараты будущего / Ю. В. Прохоров, В. Бутенко // Спутниковая связь и вещание. – 2010. – Спецвыпуск.
2. Северцев, Н. А. К вопросу об утрате работоспособности систем / Н. А. Северцев, А. В. Бецов, А. М. Самокутяев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 268–270.
3. Гобчанский, О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов / Олег Гобчанский // СТА. – 2001. – № 4. – С. 76–79.
4. Затылкин, А. В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров статически неопределимых систем амортизации РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, И. И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 33–40.
5. Ползунов, И. В. Проблемы повышения стойкости датчиков давления в составе изделий ракетно-космической техники к воздействию радиационного излучения / И. В. Ползунов, А. А. Родионов, В. А. Шокоров // Датчики и системы : сб. тр. XXXI межрег. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – Пенза : ОАО «НИИФИ», 2013. – С. 104–106.

6. Ползунов, И. В. Способы повышения надежности и точности измерения полупроводниковых датчиков давления в составе изделий ракетно-космической техники при воздействии радиационного излучения / И. В. Ползунов, А. А. Родионов, В. А. Шокоров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 4 (6). – С. 71–75.
7. Анашин, В. С. Проблемы обеспечения высоких сроков активного существования РЭА спутников / В. С. Анашин // Электросвязь. – 2009. – № 4. – С. 56–61.
8. Лысенко, А. В. Анализ особенностей применения современных активных систем виброзащиты для нестационарных РЭС / А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Д. А. Рындин // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 155–158.
9. Дивеев, А. И. Синтез оптимального закона управления потоками транспорта в сети автодорог на основе генетического алгоритма / А. И. Дивеев, Н. А. Северцев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. – № 3. – С. 87.

Ползунов Иван Владимирович

начальник сектора,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)
E-mail: ivan.polzunov@mail.ru

Родионов Александр Александрович

начальник лаборатории,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)
E-mail: rodionov_niifi@mail.ru

Шокоров Вадим Александрович

инженер-конструктор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)
E-mail: vad_pnz@mail.ru

Аннотация. Выявлены основные проблемы создания высоконадежных датчиков для эксплуатации в составе КА с повышенными сроками активного существования. Определены способы повышения надежности и выявления скрытых дефектов при проектировании и изготовлении полупроводниковых датчиков давления.

Ключевые слова: космический аппарат, срок активного существования, полупроводниковый датчик давления, качество, скрытый дефект, критичный элемент конструкции.

Polzunov Ivan Vladimirovich

head of sector,
Research Institute of Physical Measurement
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Rodionov Aleksandr Aleksandrovich

head of laboratory,
Research Institute of Physical Measurement
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Shokorov Vadim Aleksandrovich

design engineer,
Research Institute of Physical Measurement
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Abstract. The main problems of creation of highly reliable sensors for operation as a part of spacecraft with the increased term of active existence. Identified ways to improve the reliability and of the latent defects at design and production of semiconductor pressure sensor.

Key words: spacecraft, term of active existence, semiconductor pressure sensor, quality, latent defect, critical element of a design.

УДК 681.586.772

Ползунов, И. В.

Способы повышения надежности полупроводниковых датчиков давления в составе космических аппаратов с увеличенным сроком активного существования / И. В. Ползунов, А. А. Родионов, В. А. Шокоров // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 94–97.