

- side) DVD Re-recordable Disk (DVD-RW). – December 2002.
4. Standard Blu-ray Disk Format: 1.B Physical Format Specifications for BD-R. 5th Edition. – October, 2010.
  5. Standard Blu-ray Disk Format: 1.A Physical Format Specifications for BD-RE. 3Rd Edition. – October, 2010.
  6. International Standard ECMA-378. Information Interchange on Read-Only Memory Holographic Versatile Disc (HVD-ROM) - Capacity 100 Gbytes per disk. 1st Edition. – May, 2007.
  7. International Standard ECMA-377. Information Interchange on Holographic Versatile Disc (HVD) Recordable Cartridges – Capacity: 200 Gbytes per Cartridge. 1st Edition. – May, 2007.
  8. European Telecommunications Standards Institute. Digital Video Broadcasting (DVB) Framing structure, channel coding and modulation
  9. The INCITS T10 Technical Committee. Information Technology – Multi-Media Commands - 6 (MMC-6), Revision 2, 9 July 2008
  10. Слипенчук П.В. Стеганография в кодах, исправляющих ошибки // М.: Вестник МГТУ, Специальный Выпуск №5, 2013.
  11. Слипенчук П.В. Простое построение совершенных стегосистем на основе различных ошибок в помехоустойчивых кодах в модели трёх каналов. // М.: Вестник МГТУ, Специальный Выпуск (в печати)
  12. Слипенчук П.В. Перспективы и практическое применение стеганографии в помехоустойчивых кодах. // М.: ВНИИ ПВТИ, журнал БИТ, № 3, 2013

УДК 629.783

### ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА МИКРОСПУТНИК ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ

Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В.

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь*

Мировой и в частности российский рынки в области разработки космической техники по дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) продолжают развиваться быстрыми темпами: приблизительно на 10 – 20 % в год [1]. На данный момент прослеживаются следующие тенденции ДЗЗ:

- увеличение относительного количества малоразмерных КА (малых, мини и микроспутников (МК));
- непрерывное возрастание уровня детализации объектов на космических снимках (пространственное разрешение до 0,5-1 м);
- начало интенсивного освоения микро/нано-технологий и создания больших космических систем из микро- и нано-спутников;
- неуклонное расширение состава исследовательских КА ДЗЗ и космических экспериментальных программ, направленных на научное изучение Земли и отработку новых методов и приборов ДЗЗ;
- активные организационные усилия ведущих космических держав по началу формирования космических систем глобального наблюдения Земли в рамках международного сотрудничества.

МК ДЗЗ относительно просты в разработке, обладают низкой себестоимостью производства, что ведёт к снижению риска больших потерь из-за неудачных запусков ракетопосителей, кроме того МК дают возможность создать

многоспутниковую систему, предоставляющую информацию в реальном масштабе времени и др.

В процессе эксплуатации МК подвергается воздействию различных внешних факторов, которые оказывают значительное влияние на его работу:

- при выведении на орбиту: вибрации, ударные и линейные перегрузки, нагрев, акустический шум;
  - во время орбитального полёта: космический вакуум, высокие и низкие температуры, электромагнитные излучения, корпускулярные потоки, микрометеориты, невесомость и др. [2].
- Механическое воздействие проявляется в возникновении силы, способной привести к разрушению конструкции. К механическим факторам относятся [2]:
- акустические шумы;
  - линейные и центробежные перегрузки (тяга двигателей, инерционные нагрузки, аэродинамические силы, такелажные и транспортные операции);
  - удары (срабатывание пиротехнических элементов при отделении отработавших ступеней ракетопосителя);
  - вибрации (пульсации тяги и колебаний компонентов топлива в трубопроводах).

Климатические факторы характеризуются температурой, относительной влажностью, наличием агрессивной среды и давлением. Источниками тепловой энергии являются тепловое излу-

чение Солнца, Земли, и работающие электронные блоки спутника. В процессе теплообмена участвуют все элементы конструкции и аппаратуры через тепловые трубы, кабели и элементы крепления. Повышение и понижение температуры, зачастую, вызывают значительные механические напряжения в конструкции, состоящей из материалов с разным температурным коэффициентом расширения. Понижение атмосферного давления приводит к снижению пробивного напряжения и ухудшению теплоотвода.

При орбитальном полете МК подвергается воздействию различных факторов космического пространства, которые в земных условиях практически отсутствуют.

Результатом воздействия космического вакуума на элементы и узлы МК являются [2]:

- отсутствие конвективного теплообмена и теплопроводности;
- газовыделение, потеря летучих компонентов и сублимация материалов в вакууме;
- возрастание адгезии в вакууме, усиление трения и износа;
- изменение механических, электрических, оптических и других свойств материалов;
- изменение коэффициента аккомодации;
- утечка хранящихся на борту МК газов;
- разгон истекающих и стравливающих газов до предельных скоростей.

Отсутствие конвективного теплообмена и теплопроводности среды затрудняет передачу теплоты через соприкасающиеся поверхности, так как между ними образуются вакуумные промежутки. Это приводит не только к локальному и общему перегревам, но и вызывает тепловые пробой мощных полупроводниковых приборов.

Газовыделение и потеря летучих компонентов, сублимация материалов в вакууме приводят к изменению следующих характеристик материалов:

- теплофизических (теплопроводность, теплостойкость) и диэлектрических (электропроводность, проницаемость) характеристик полимерных и композитных материалов;
- оптических характеристик поверхностей;
- характеристик трения соприкасающихся материалов: адгезии (прилипания) и холодной сварки при наличии давления или трения вследствие удаления смазки, красителей, защитных покрытий.

Воздействие невесомости на поведение жидких, газообразных и сыпучих тел проявляется в образовании «застойных» зон (например, в виде капель, «висящих» в газовой среде), отсутствии распределения в потоках или смесях по массе частиц, а также направленного движения этих сред, что требует их механического, пневматического или гидравлического «проталкивания» под действием избыточного давления. Это

воздействие приводит к снижению надежности узлов и аппаратуры и может служить причиной отказов электромеханических устройств, пневмо- и гидроаппаратуры, систем жидкостного охлаждения, двигательных установок, работающих на жидких и особенно криогенных компонентах топлива.

Рассмотрим конструктивные приёмы, с помощью которых возможно снижение влияния воздействия рассмотренных выше факторов на аппаратуру КА.

Для защиты от перегрузок наиболее оптимальным вариантом является увеличение прочности конструкции.

Чтобы уменьшить влияние вибраций, используются следующие способы [2]:

- установка амортизаторов (уменьшают внешние возмущения на аппаратуру);
- уменьшение габаритных размеров аппаратуры и увеличение её жесткости для исключения вхождения в резонанс.

Снижение влияния температурных изменений осуществляется:

- при повышении температуры внутри аппаратуры – за счёт создания эффективного теплоотвода (установка на элементы выделяющие тепло устройства, излучающие тепло; установка радиаторов; принудительное охлаждение);
- при повышении температуры снаружи КА – за счёт создания принудительного охлаждения, термостатирования;
- при понижении внешней температуры – путём подогрева или термостатирования;
- низкая терморасстраиваемость достигается за счет применения материалов с малым значением коэффициента теплового расширения ( $1 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ ) (углепластики, стеклокерамика, специальные металлические сплавы); а также функционирования системы поддержания стабильного температурного режима [2].

Если одновременно воздействуют как высокие, так и низкие температуры, то один из эффективных способов защиты – использование тепловых труб в качестве элементов термостабилизации.

Для покрытия печатных плат и герметизации разъемов используют полиуретановые компаунды (термоактивная, термопластическая полимерная смола и эластомерные материалы с наполнителями и добавками или без них после затвердевания) и пенокомпаунды.

Чтобы применять материалы в составе КА их газовыделение должно быть не более 1 % общей потери массы материала и 0,1 % накопленного конденсирующего летучего материала [2]. Также используются защитные лаки с низким газовыделением. При изготовлении производится операция дегазации (выдержка изделия или его составной части в вакууме при повы-

шенной температуре).

Геометрическая стабильность конструкции достигается использованием материалов, обладающих высокими удельными механическими характеристиками (углепластик).

Устойчивость к внешним воздействиям в условиях орбитальной эксплуатации (радиационное воздействие, ультрафиолетовое излучение) в течение заданного срока эксплуатации обеспечивается выбором материалов с соответствующими характеристиками.

В защите от радиации также может участвовать несущая конструкция аппарата, но интегральная толщина экрана из алюминия при этом должна составлять не более 2 – 4 мм, особенно при использовании трехслойных сотовых панелей. Увеличение плотности компоновки аппарата и размещение критичных к радиации приборов за экраном из не критичных, например, аккумуляторных батарей, может довести интегральную толщину экрана для самых критичных приборов до необходимых 10 – 15 мм.

Точность съёмки поверхности Земли определяется тем как установлена оптико-электронная система (ОЭС) в целом, а также системы ориентации и стабилизации, которые при компоновке целесообразно размещать на одной установочной плате [3].

Для обеспечения установленного теплового режима ОЭС, её необходимо заглубить в приборный блок МК, чтобы он обеспечивался сред-

ствами как самой системы, так и средствами МК.

На торцевой поверхности корпуса МК рекомендуется располагать приборы с большим энергопотреблением, например датчики (передатчики) целевой информации.

Таким образом, на МК оказывает влияние значительное количество различных факторов: механические, климатические, космический вакуум, невесомость, радиация. Поэтому конструкция МК должна обеспечивать достаточную стабильность работы целевой аппаратуры, а компоновка приборов МК необходимо осуществлять с учётом подверженности влиянию факторов космического пространства.

1. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года. – М.: ФГУП ЦНИИМАШ. 2006. – 72 с.
2. Даниев, Ю.В. Космические летательные аппараты / Ю.В. Даниев, А.В. Демченко, В.С. Зевако, А.М. Кулабухов, В.В. Хуторный // Введение в космическую технику. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС. 2007.
3. Патент: RU 2457157. В64G1/10. Микроспутник для дистанционного зондирования поверхности земли. ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева». Абалихин О.Ю., Блинов В.Н. и др. Заявлен: 07.12.2010. Опубликовано: 27.07.2012.

УДК 537.634.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНЫХ СИСТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВОК ПРИСОЕДИНЕНИЯ ВЫВОДОВ МЕТОДАМИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПЕРЕДАТОЧНЫХ МАТРИЦ

Степаненко Д.А., Богданчук К.А., Минченя В.Т.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Ультразвуковая микросварка широко используется в микроэлектронике для формирования электрических проволочных выводов полупроводниковых микросхем [1]. В настоящее время ГНПО «Планар» выпускает ряд моделей ручных и автоматических ультразвуковых установок присоединения выводов, позволяющих формировать выводы из золотой и алюминиевой проволоки. Однако в связи с несовершенством существующих методов расчета сложных ультразвуковых колебательных систем технологического назначения проектирование волноводных систем установок присоединения выводов требует выполнения значительного объема опытно-конструкторских работ. В данной работе рассматривается возможность упрощения процесса проектирования волноводных систем установок присоединения выводов путем применения методов конечных элементов и передаточных мат-

риц.

В качестве объекта исследования была выбрана волноводная система установки присоединения выводов ЭМ-4320, чертеж и фотография которого приведены на рисунке 1.

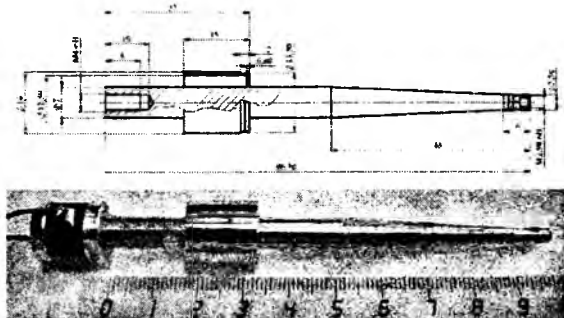


Рисунок 1 – Волновод установки присоединения выводов ЭМ-4320 (на фотографии показан в сборе с преобразователем Ланжевена)