



Планирование наземной экспериментальной отработки и летных испытаний

А.Ю. Шаенко

Москва, 2014



План лекции

1. Цели, задачи и общие методы экспериментальной отработки космических аппаратов.
2. Принципы наземной отработки.
3. Проверка логики функционирования.
4. Испытания бортового и наземного программного обеспечения.
5. Механические испытания.
6. Тепловые испытания.
7. Климатические испытания.
8. Испытания на радиационную стойкость.
9. Испытания на электромагнитную совместимость.



План лекции

10. Радиотехнические испытания.
11. Электрические испытания.
12. Химические испытания.
13. Биологические испытания.
14. Летная отработка и предстартовые испытания.



Введение

Целью проведения экспериментальной отработки является получение образца КА, полностью удовлетворяющего требованиям ТЗ.

Отработка включает в себя:

1. Наземные испытания систем КА или КА в целом, в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.
2. Экспериментальное определение летно-технических характеристик КА в ходе летных испытаний.
3. Доводку конструкции КА, его бортового ПО, наземного оборудования на основе результатов наземных и летных испытаний.



Введение

В ходе отработки решаются следующие задачи:

1. Проверка правильности заложенных конструктивных и схемных решений и скорректировать их в случае необходимости.
2. Проверка и отработка функционирования систем КА в эксплуатационных условиях, а также отработка их в общей конструктивной схеме.
3. Исследование и устранение причин потенциальных неисправностей, которые могут возникнуть в ходе наземной и летной эксплуатации КА.
4. Отработка наземной технологии КА.
5. Отработка эксплуатационной документации на КА.



Виды испытаний

Испытания по уровню обрабатываемой системы можно разделить:

- Лабораторные испытания отдельных элементов, материалов, покрытий, новых технических решений. Лабораторные испытания можно разделить на поисковые, проводимые с целью определения параметров и/или возможности применения новых схем, решений и конструкций, и предварительные испытания отдельных элементов с целью подтверждения их характеристик.
- Автономные испытания отдельных агрегатов космического аппарата.



Виды испытаний

- Комплексные испытания систем космического аппарата. Аналогичны агрегатным испытаниям, но проводятся для систем в сборе.
- Комплексные испытания всего космического аппарата.

По решаемым задачам можно выделить:

- испытания, в ходе которых определяются принципиальная работоспособность систем КА в условиях космического полета
- испытания, в ходе которых проверяется эффективность работы систем КА.



Принципы наземной отработки

При планировании экспериментальной отработки следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- Отработка новых конструкций должна проводиться на стендах, имитирующих условия полета или на уже отработанных КА.
- Следует максимально использовать уже отработанные узлы, агрегаты и системы.
- По возможности, следует проводить параллельную отработку всех систем КА.
- На этапе летных испытаний следует проводить проверку правильности выбора конструктивных решений.



Проверка логики функционирования

Проверка логики функционирования - вид испытаний, при котором отрабатывается алгоритм работы всех систем КА, реализованный как в виде бортового программного обеспечения и в виде исполнительных устройств.

Данный вид испытаний проводится перед началом всех последующих видов.

Примеры: срабатывание пиросредств при подаче тока заданной величины, раскрытие панелей солнечных батарей, поворот управляющих двигателей в нужную сторону и прочее.



Испытания бортового и наземного программного обеспечения

Программное обеспечение космического комплекса делится как минимум на два вида: наземное, предназначенное для обеспечения полета КА, и бортовое, исполняющееся на аппаратных средствах КА во время полета.

В силу специфики работы ПО разных видов к нему предъявляются различные требования.

Испытания программного обеспечения проводятся в несколько этапов:

1. Автономная отработка программных блоков



Испытания бортового и наземного программного обеспечения

Испытания программного обеспечения проводятся в несколько этапов:

1. Автономная отработка программных модулей на нештатном аппаратном обеспечении, эмуляторе.
2. Отработка программных модулей на эмуляторе с организацией обмена данными с математической моделью систем КА.
3. Отработка программных модулей на эмуляторе с организацией обмена данными со стендовым образцом элемента системы или системой КА.



Испытания бортового и наземного программного обеспечения

1. Отработка программных модулей на штатном аппаратном обеспечении с организацией обмена данными с математической моделью систем КА.
2. Отработка программных модулей на штатном аппаратном обеспечении с организацией обмена данными со стендовым образцом элемента системы или системой КА.
3. Отработка всего комплекса программных модулей на эмуляторе с организацией обмена данными с математической моделью систем КА.



Испытания бортового и наземного программного обеспечения

4. Отработка всего комплекса программных модулей на эмуляторе с организацией обмена данными со стендовым образцом элемента системы или системой КА.
5. Отработка всего комплекса программных модулей на штатном аппаратном обеспечении с организацией обмена данными со стендовым образцом элемента системы или системой КА.



Испытания бортового и наземного программного обеспечения

6. Отработка всего комплекса программных модулей на штатном аппаратном обеспечении с организацией обмена данными со стендовым или летным экземпляром КА.
7. Отработка всего комплекса программных модулей на штатном аппаратном обеспечении с организацией обмена данными со стендовым или летным экземпляром КА в процессе наземной комплексной отработки.
8. Летная отработка, при необходимости изменения комплекса ПО в полете.



Механические испытания

В процессе наземной подготовки, выведения и полета элементы конструкции КА подвергаются различным механическим воздействиям:

- статическим от силы веса при земной силе тяжести или при повышенной,
- вибрационным в процессе наземной транспортировки и полета на РН,
- акустическим в процессе старта РН,
- ударным в процессе разделения ступеней, отделения от РН и в процессе посадки,
- газодинамическим в процессе полета в атмосфере.



Механические испытания

Соответственно, испытания КА в процессе отработки можно разделить на:

- статические, в том числе с инерционным и с механическим нагружением,
- вибрационные,
- акустические,
- ударные.



Тепловые испытания

Космический аппарат в процессе своей наземной подготовки и полета подвергается термическому воздействию, кроме того, в процессе полета аппарат подвергается воздействию разнообразных факторов космического пространства.

Соответственно, для отработки систем КА требуется проверить их функционирование в условиях максимально приближенным к реальным. Помимо этого требуется убедиться в работоспособности и эффективности работы системы обеспечения теплового режима.

Эти задачи решаются в ходе различных тепловых испытаний.



Тепловые испытания

Тепловые испытания подразделяются на

- Испытания на определение работоспособности СОТР (испытания на тепловой баланс). В ходе проведения данного вида испытаний решаются задачи по демонстрации работы как всей СОТР в сборе, так и отдельных ее элементов, по уточнению математической модели СОТР и проверки ее на предельных режимах. В состав этого вида испытаний входят *испытания на предельные возможности СОТР, определение тепловых утечек КА, тепловое сопротивление изоляции, определение эффективной теплоемкости КА и его элементов.*



Тепловые испытания

- Испытания на определение работоспособности бортовой аппаратуры и элементов конструкции КА. Данный вид испытаний проводится для определения возможности работы КА в условиях воздействия факторов космического полета.
- Огневые испытания. Проводятся для определения работоспособности двигательной установки и окружающих ее элементов конструкции КА в реальных условиях работы.
- Криоиспытания. Проводятся для определения работоспособности элементов конструкции КА, соприкасающихся с криогенными жидкостями.



Климатические испытания

Климатические испытания имитируют воздействие пониженной или повышенной температуры, влажности, соляного тумана, осадков, повышенного или пониженного давления на космический аппарат в ходе его наземной подготовки.

Испытания проводятся в климатических камерах, позволяющих в той или иной мере имитировать полный набор воздействий.



Испытания на радиационную стойкость

В процессе космического полета бортовая аппаратура КА и элементы его конструкции облучаются гамма-квантами и заряженными частицами, что приводит к программным ошибкам и деградации характеристик электронных компонент. Следует отметить, что радиация оказывает существенное влияние на при полетах за пределами внутреннего радиационного пояса, на высотах более 1000 км.

Соответственно, проводятся испытания работоспособности бортового программного и аппаратного обеспечения при работе у условиях повышенной радиации.



Испытания на радиационную стойкость

При этом исследуется как и программные ошибки, возникающие при воздействии заряженных частиц на элементы электроники, так и деградация материалов компонентной базы.

Кроме того, испытаниям на радиационную стойкость подвергаются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечных батарей, неметаллические материалы, пленочные материалы ЭВТИ и терморегулирующие покрытия.



Испытания на электромагнитную СОВМЕСТИМОСТЬ

Работа электронной аппаратуры на борту КА приводит к паразитному излучению радиоволн различных диапазонов и интенсивностей. При проведении испытаний на электромагнитную совместимость экспериментально подтверждается отсутствие взаимовлияние радиоэлектронной аппаратуры КА при совместной работе.



Радиотехнические испытания

В состав КА чаще всего входят радиотехнические средства приема и передачи информации с борта КА на наземный пункт управления и обратно.

Радиотехнические испытания проводятся:

- с целью проверки работоспособности бортового радиокомплекса,
- определения его работоспособности совместно с наземными средствами,
- определение диаграмм направленности бортовых антенн, прочими целями.



Электрические испытания

В процессе орбитального полета поверхности космического аппарата накапливают электрический заряд. В случае отсутствия электрической связи между элементами конструкции КА возможно образование электрической дуги с выходом из строя бортовой радиоэлектронной аппаратуры. С этой целью:

- измеряется электрическое сопротивление между элементами конструкции КА,
- элементы бортовой аппаратуры проверяются на воздействие электрического разряда.

Кроме того, отдельно проверяется величина электрического сопротивления изоляции в кабельных сборках.



Химические испытания

В случае нахождения КА или элементов его конструкции в химически активной среде проводятся испытания на воздействие действие этой среды на КА.

Испытания могут проводится ускоренно, при повышенной концентрации химических веществ или при повышенной температуре.



Биологические испытания

В ходе наземной подготовки и во время полета обитаемых КА элементы конструкции бортовой аппаратуры могут подвергаться воздействию различных микро- и макроскопических биологических объектов, что может приводить к загрязнению и засорению, разрушению, коррозии.

Для проведения биологических испытаний испытываемый объект помещают в среду с биологическими объектами или наносят биологические объекты во внутренние объемы КА и наблюдают процесс биологического воздействия.

КА считается выдержавшим биологические испытания в том случае, когда его работоспособность после биологического воздействия не изменилась.



Летные испытания

Целью проведения летных испытаний является оценка работоспособности общей конструктивной схемы КА и его систем в условиях реального полета, подтверждения возможности выполнения задачи полета и обеспечения летно-технических характеристик согласно требованиям ТЗ.

Летные испытания можно разделить на следующие виды:

- испытания на технической позиции космодрома,
- летно-конструкторские испытания на орбите.



Список литературы

«Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов» под редакцией Н.В. Холодкова, М. Издательство МАИ, 1994, 411 с.

Андрейчук О.Б., Малахов Н.Н. Тепловые испытания космических аппаратов. М.: Машиностроение. 1982 г. 143 с.

ГОСТ 16504-81 «Испытания и контроль качества продукции»



Планирование наземной экспериментальной отработки и летных испытаний

Спасибо за внимание

Кафедра СМ-1 «Космические аппараты и ракеты-носители»

107005, Москва, Госпитальный переулок, дом 10

E-mail: kafsm1@sm.bmstu.ru

Телефон: +74992610107