



# Планирование наземной экспериментальной отработки и летных испытаний

А.Ю. Шаенко

Москва, 2014



# Планирование наземной экспериментальной отработки и летных испытаний

## 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.



# Планирование наземной экспериментальной отработки и летных испытаний

## 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. Оработка всего комплекса программных модулей на штатном аппаратном обеспечении с организацией обмена данными со стендовым или летным экземпляром КА.
7. Оработка 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.
- Кривоиспытания. 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 бортовая аппаратура могут подвергаться воздействию различных микро- и макроскопических биологических объектов, что может приводить к загрязнениям и засорениям, 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](mailto:kafsm1@sm.bmstu.ru)

Телефон: +74992610107