

Бахвалов Ю.О.

**Испытания ракетно-космической техники.
Введение в специальность**

Учебное пособие



Москва 2015

УДК 629.7(075.8)

ББК 39/62я73

Б51

Рецензенты

Родченко В. В., д.т.н., профессор, зам. заведующего кафедрой «Управление эксплуатацией РКС» Аэрокосмического факультета МАИ, *Силюнова М. В.*, д.т.н., профессор кафедры «Технологии проектирования и производства двигателей летательных аппаратов» МАТИ

Бахвалов, Ю. О.

Б51 Испытания ракетно-космической техники. Введение в специальность [Текст]: учеб. пособие / Ю. О. Бахвалов. М.: ООО «АИР», 2015. 228 с.

ISBN 978-5-9905283-4-5

В учебном пособии изложены общие принципы технологии испытаний ракетно-космической техники. На конкретных примерах показаны различные виды испытаний и их взаимосвязь друг с другом, с обсуждением применения соответствующего стендового оборудования в процессе наземно-стендовой отработки (НСО).

Подробно рассмотрены проблемы методического обеспечения НСО её организация и планирование.

В книге обсуждаются различные виды испытаний на всех этапах жизненного цикла изделия, включая автономные, комплексные испытания, контрольные и лётно-конструкторские испытания.

Значительное внимание уделено анализу типового стендового оборудования применительно к каждому виду испытаний.

Учебное пособие предназначено для студентов технических вузов, обучающихся по аэрокосмическим специальностям, а также может быть полезно для научных работников, аспирантов и инженеров, занятых созданием и НСО ракетно-космической техники.

УДК 629.7(075.8)

ББК 39/62я73

© Бахвалов Ю.О., 2015

© ООО «АИР», 2015

ISBN 978-5-9905283-4-5

Оглавление

Введение	14
Глава 1. Порядок создания ракетно-космической техники	16
1.1. Основные этапы создания РКТ.....	16
1.2. Моделирование	17
1.3. Состав космических систем.....	18
1.4. Классификация испытаний.....	22
1.4.1. Исследовательские испытания	23
1.4.2. Автономные испытания	23
1.4.3. Комплексные испытания	24
1.4.4. Лётные испытания	25
1.4.5. Контрольные (заводские) испытания	25
1.4.6. Сертификация	26
1.5. Задачи, решаемые при проведении испытаний	26
1.6. Определение условий проведения испытаний.....	27
1.7. Точность методов испытаний.....	28
Глава 2. Порядок проведения испытаний	32
2.1. Цели и задачи испытаний	32
2.2. Схема проведения испытаний.....	34
2.3. Виды внешних воздействий при испытаниях.....	38
2.4. Испытания на воздействие механических нагрузок.....	39
2.4.1. Статические испытания	40
2.4.1.1. Схемы испытаний	40
2.4.1.2. Испытания на внутреннее давление	42
2.4.1.3. Испытания на наружное давление.....	43
2.4.2. Динамические испытания.....	43
2.4.2.1. Частотные испытания	43
2.4.2.2. Испытания на вибропрочность.....	45
2.4.2.3. Транспортные испытания	47

2.4.2.4. Испытания на ударные нагрузки	48
2.4.2.5. Акустические испытания	49
2.5. Испытания на воздействие тепловых и аэродинамических нагрузок.....	50
2.5.1. Радиационные установки местного нагрева	52
2.5.2. Кондуктивный нагрев.....	53
2.5.3. Охлаждающие устройства	54
2.5.4. Испытания на воздействие аэродинамических нагрузок.....	58
2.6. Испытания на сохраняемость изделий при воздействии внешних условий	63
2.6.1. Климатические испытания	63
2.6.2. Испытания на воздействие вакуума.....	64
2.6.2.1. Влияние вакуума на материалы.....	64
2.6.2.2. Тепловакуумные испытания.....	64
2.6.3. Испытания на воздействия факторов космического пространства (ФКП).....	65
2.7. Испытания на воздействие рабочих тел (жидкостей и газов)	66
2.7.1. Физические основы испытаний	66
2.7.1.1. Испытания пневмо-гидросистем (ПГС).....	66
2.7.1.2. Местные гидравлические сопротивления	68
2.7.1.3. Особенности в поведении жидкости	68
2.7.1.4. Гидравлический удар в трубопроводах	69
2.7.1.5. Истечение жидкостей.....	69
2.7.1.6. Гидравлические насосы.....	70
2.7.2. Порядок проведения испытаний	71
2.7.2.1. Испытания по определению гидравлических потерь	71
2.7.3. Проливочные испытания на стендовых изделиях	72
2.7.3.1. Испытания ДУ.....	72
2.7.3.2. Комплексные испытания ПГС	73
2.7.3.3. Последовательность проведения технологических операций при подготовке к испытаниям ДУ.....	73
2.7.4. «Огневые» испытания.....	74
2.7.4.1. Оценка работы двигателя при «огневых» испытаниях	74
2.7.4.2. Оценка работоспособности пневмо-гидросистем	75
2.8. Электрические испытания	77

2.8.1. Испытания электрических цепей	77
2.8.2. Измерение электрических характеристик	78
2.8.3. Виды электрических проверок систем, входящих в ЛА	79
2.8.4. Испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС)	80
Глава 3. Организация и планирование испытаний	82
3.1. Программа обеспечения надёжности (ПОН)	84
3.1.1. Документооборот при испытаниях	84
3.1.2. Мероприятия по обеспечению надёжности	85
3.1.3. Этап эскизного проектирования (ЭП)	85
3.1.4. Этап разработки конструкторской документации	86
3.1.5. Реализация мероприятий по обеспечению надёжности	88
3.2. Комплексная программа экспериментальной отработки (КПЭО)	88
3.3. Общие требования к организации испытаний различных видов	96
3.3.1. ТЗ на испытания	97
3.3.2. ТЗ на разработку объекта испытания	97
3.3.3. КД на объект испытания	97
3.3.4. ТЗ на оснастку или стендовое оборудование	98
3.3.5. ТЗ на систему измерений	98
3.3.6. ТЗ на систему управления	98
3.3.7. КД на наземное оборудование	99
3.3.8. Технологический план эксперимента	99
3.3.9. Программа испытаний	99
3.3.10. Отчёт по испытаниям	100
3.4. Учёт отказов и их парирование	100
Глава 4. Автономные испытания	102
4.1. Схема деления изделия	102
4.2. Цель автономных испытаний изделий каждого уровня – отработка надёжности	104
4.3. Этапы проведения автономной отработки	106
4.3.1. Доводочный этап испытаний	107
4.3.2. Предварительный этап испытаний	107

4.3.3. Приёмочные испытания	108
4.4. Количество образцов	108
4.5. Автономная отработка систем, состоящих из электронных приборов	109
4.5.1. Автономные испытания	110
4.5.2. Предварительные и доводочные испытания	111
4.5.3. Приёмочные испытания	111
Глава 5. Комплексные испытания	112
5.1. Модель для статических испытаний	113
5.1.1. Основные задачи	113
5.1.2. Расчётные случаи	113
5.1.3. Требования к изделиям для статических испытаний	114
5.2. Модели для динамических испытаний	116
5.2.1. Задачи для комплексных динамических испытаний	116
5.2.2. Особенности при задании нагрузок	116
5.2.3. Требования к изделиям для виброиспытаний	118
5.3. Модель для комплексных пневмогидравлических испытаний	119
5.3.1. Задачи пневмогидравлических испытаний	119
5.3.2. Некоторые особенности проведения испытаний	119
5.3.3. Требования в комплексном изделию для испытаний ПГС	120
5.4. Изделие для огневых испытаний	120
5.4.1. Задачи огневых комплексных испытаний	120
5.4.2. Требования к проведению испытаний	121
5.4.3. Требование к изделию для «огневых» испытаний	121
5.5. Изделие для комплексных тепловых испытаний	122
5.5.1. Задачи тепловых испытаний	122
5.5.2. Особенности проведения испытаний	124
5.5.3. Требования к изделию	124
5.6. Изделие для испытаний на разделение	124
5.6.1. Основные задачи испытаний	124
5.6.2. Особенности проведения испытаний	125
5.6.3. Требования к изделию	128

5.7. Изделие для технологических испытаний	128
5.7.1. Основные задачи испытаний	128
5.7.2. Требования к изделию	129
5.8. Изделия для заправочных испытаний	129
5.8.1. Основные задачи испытаний	129
5.8.2. Требования к изделию	130
5.9. Стенд-электроаналог	130
5.9.1. Основные задачи испытаний	130
5.9.2. Особенности проведения испытаний	131
5.9.3. Требования к изделию	132
5.10. Изделие для испытаний радиотехнических систем	132
5.10.1. Основные задачи испытаний радиотехнических систем	132
5.10.2. Особенности испытаний изделия	133
5.10.3. Требования к изделию	133
5.11. Изделия для испытания на воздействия факторов космического пространства или поражающих факторов	134
Глава 6. Контрольные испытания по проверке качества изготовления ЛА	135
6.1. Виды контрольных испытаний	136
6.1.1. Установочные испытания	137
6.1.2. Периодические испытания	138
6.1.3. Контрольно-выборочные испытания	138
6.1.4. Предъявительские испытания	138
6.1.5. Приёмо-сдаточные испытания	139
6.1.6. Входной контроль	139
6.2. Виды испытаний на заводе-изготовителе	139
6.2.1. Внешний осмотр	139
6.2.2. Пневмогидроиспытания	140
6.2.2.1. Гидростатические испытания	140
6.2.2.2. Испытания на герметичность	140
6.2.2.3. Контроль гидравлических характеристик	142
6.2.2.4. Контроль давлений	143

6.2.3. Контроль целостности, неразрушающие методы контроля	143
6.2.3.1. Приборы и методы акустического контроля	143
6.2.3.2. Приборы и методы вибрационного контроля и диагностики	143
6.2.3.3. Приборы капиллярного контроля	144
6.2.3.4. Приборы и методы магнитного контроля	144
6.2.3.5. Приборы и методы оптического контроля.....	144
6.2.3.6. Приборы и методы радиационного контроля	144
6.2.3.7. Приборы и методы радиоволнового контроля.....	145
6.2.3.8. Приборы и методы теплового контроля	145
6.2.3.9. Приборы и методы электрического контроля	145
6.2.3.10. Приборы и методы электромагнитного контроля	145
6.2.4. Электроиспытания	146
6.2.4.1. Защитные операции	146
6.2.4.2. Автономные электрические испытания	146
6.2.4.3. Комплексные испытания	146
6.2.5. Контроль защиты изделия от воздействия статического электричества	147
6.2.6. Контроль чистоты	148
6.2.7. Контроль размеров	150
6.2.8. Контрольное взвешивание	151
6.3. Метрология	151
6.3.1. Методы измерений	151
6.3.2. Средства измерений	153
6.3.3. Метрологические характеристики средств измерений	155
6.3.4. Погрешности измерений	156
6.3.5. Поверка средств измерения (СИ)	160

Глава 7. Лётно-конструкторские испытания 162

7.1. Цель и задачи лётно-конструкторских испытаний	163
7.1.1. Лётно-конструкторские испытания	163
7.1.2. Задачи ЛКИ	164
7.2. Планирование лётно-конструкторских испытаний	166
7.2.1. Программа ЛКИ	166
7.2.2. Этапность проведения ЛКИ	167

7.2.3. Безопасность проведения испытаний	168
7.2.4. Количество лётных изделий	168
7.2.5. Завершение ЛКИ	169
7.3. Испытание изделий при подготовке на полигоне	170
Глава 8. Стендовая база конструкторских бюро и отраслевых научно-исследовательских институтов.....	173
8.1. Структура НСО.....	177
8.1.1. Исследовательские испытания	177
8.1.2. Стенды для проведения исследовательских испытаний	178
8.1.2.1. Газодинамические стенды	178
8.1.2.2. Аэродинамические стенды	179
8.1.2.3. Вакуумно–излучательные стенды	180
8.2. Испытания на этапе рабочего проектирования	182
8.2.1. Стенды для испытания на механические нагрузки агрегатов и узлов	183
8.2.1.1. Ударные установки	183
8.2.1.2. Стенд центробежных перегрузок	184
8.2.1.3. Стенд вертикальной нагрузки	185
8.2.1.4. Установка вибрационная электродинамическая	185
8.2.2. Стенды для климатических испытаний	186
8.2.2.1. Климатические термокамеры	187
8.2.2.2. Вакуумные камеры	188
8.2.2.3. Термобароклав	189
8.2.3. Специальные стенды для отработки агрегатов	191
8.2.3.1. Стенды для испытания агрегатов управления	191
8.2.3.2. Стенд обеспечения теплового режима	193
8.3. Стендовая база для проведения комплексных испытаний	195
8.3.1. Комплекс для проведения статических испытаний изделий	196
8.3.2. Участок комплексных динамических испытаний	198
8.3.2.1. Электродинамические комплексы	198
8.3.2.2. Разгрузочные приспособления	200

8.3.2.3. Электрогидравлический комплекс	202
8.3.3. Комплексный стенд гидропроливочных испытаний ПГСП ДУ	203
8.3.4. Комплексный вакуумный стенд	205
8.3.4.1. Вакуумная камера	206
8.3.4.2. Комплекс буферных вакуумных камер	208
8.3.4.3. Система форвакуумной и высоковакуумной откачки	208
8.3.5. Комплексный стенд испытаний батарей солнечных (БС)	209
8.3.6. Динамический стенд полунатурного моделирования динамических характеристик рулевых трактов с цифровой системой управления.....	211
8.4. Комплекс средств автоматизированных систем управления, измерения и обработки результатов испытаний	215
8.4.1. Универсальная система измерения (УСИ)	215
8.4.2. Системы управления стенда разделения	219
8.5. Отраслевая стендовая база	220
8.5.1. Стенд ИС-102	221
8.5.2. Комплекс ВК 600/300	221
Список литературы.....	225