

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Амурский государственный университет»

(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

**Технология испытаний изделий космической техники и
их систем**

Методическое пособие

Благовещенск 2024

Составитель : М. А. Аревков

Технология испытаний изделий космической техники и их систем: метод. указания к лекц. и практ. занятиям для направления подг.: 24.03.01 и для спец.: 24.05.01 / Ин-т компьютер. и инж. наук, Каф. стартовые и техн. ракет. комплексы; сост.: М.А. Аревков – Благовещенск: АмГУ, 2024. – 250 с.

Методическое пособие по дисциплине «Технология испытаний изделий космической техники и их систем» предназначено для подготовки бакалавров и инженеров по направлению 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика» и для специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов».

© Амурский государственный университет, 2024

© Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы, 2024

© М.А. Аревков, составление

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	10
ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....	15
1.1. Основные этапы создания РКТ.....	15
1.2. Моделирование.....	16
1.3. Состав космических систем.....	17
1.4. Классификация испытаний.....	21
1.4.1. Исследовательские испытания.....	21
1.4.2. Автономные испытания.....	21
1.4.3. Комплексные испытания.....	22
1.4.4. Лётные испытания.....	23
1.4.5. Контрольные (заводские) испытания.....	23
1.4.6. Сертификация.....	23
1.5. Задачи, решаемые при проведении испытаний.....	24
1.6. Определение условий проведения испытаний.....	24
1.7. Точность методов испытаний.....	25
2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ.....	28
2.1. Цели и задачи испытаний.....	28
2.2. Схема проведения испытаний.....	29
2.3. Виды внешних воздействий при испытаниях.....	32
2.4. Испытания на воздействие механических нагрузок.....	33
2.4.1. Статические испытания.....	33
2.4.2. Динамические испытания.....	36
2.5. Испытания на воздействие тепловых и аэродинамических нагрузок 42	
2.5.1. Радиационные установки местного нагрева.....	43
2.5.2. Кондуктивный нагрев.....	44
2.5.3. Охлаждающие устройства.....	44
2.5.4. Испытания на воздействие аэродинамических нагрузок.....	48
2.6. Испытания на сохраняемость изделий при внешних условиях.....	51

2.6.1. Климатические испытания	51
2.6.2. Испытания на воздействие вакуума	52
2.6.3. Испытания на воздействия факторов космического пространства (ФКП).....	53
2.7. Испытания на воздействие рабочих тел (жидкостей и газов).....	53
2.7.1. Физические основы испытаний	54
2.7.2. Порядок проведения испытаний	56
2.7.3. Проливочные испытания на стендовых изделиях.....	57
2.7.4. «Огневые» испытания»	60
2.8. Электрические испытания	62
2.8.1. Испытания электрических цепей	63
2.8.2. Измерение электрических характеристик.....	63
2.8.3. Виды электрических проверок систем, входящих в ЛА.....	64
2.8.4. Испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС).....	65
3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ	67
3.1. Программа обеспечения надёжности (ПОН)	68
3.1.1. Документооборот при испытаниях.....	69
3.1.2. Мероприятия по обеспечению надёжности	69
3.1.3. Этап эскизного проектирования (ЭП)	70
3.1.4. Этап разработки конструкторской документации.....	71
3.1.5. Реализация мероприятий по обеспечению надёжности	72
3.2. Комплексная программа экспериментальной отработки (КПЭО)..	72
3.3. Общие требования к организации испытаний различных видов....	81
3.3.1. ТЗ на испытания.....	82
3.3.2. ТЗ на разработку объекта испытания.....	83
3.3.3. КД на объект испытания	83
3.3.4. ТЗ на оснастку или стендовое оборудование	83
3.3.5. ТЗ на систему измерений	83
3.3.6. ТЗ на систему управления	84
3.3.7. КД на наземное оборудование.....	84
3.3.8. Технологический план эксперимента.....	84
3.3.9. Программа испытаний.....	84

3.3.10. Отчёт по испытаниям.....	85
3.4. Учёт отказов и их парирование	85
4. АВТОНОМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ	87
4.1. Схема деления изделия.....	87
4.2. Цель автономных испытаний изделий каждого уровня - отработка надёжности	89
4.3. Этапы проведения автономной отработки	91
4.3.1. Доводочный этап испытаний	91
4.3.2. Предварительный этап испытаний.....	92
4.3.3. Приёмочные испытания.....	92
4.4. Количество образцов.....	93
4.5. Автономная отработка систем, состоящих из электронных приборов	94
4.5.1. Автономные испытания	94
4.5.2. Предварительные и доводочные испытания	95
4.5.3. Приёмочные испытания.....	95
5. КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ.....	96
5.1. Модель для статических испытаний.....	96
5.1.1. Основные задачи	96
5.1.2. Расчётные случаи.....	97
5.1.3. Требования к изделиям для статических испытаний	97
5.2. Модели для динамические испытания	98
5.2.1. Задачи для комплексных динамических испытаний	99
5.2.2. Особенности при задании нагрузок.....	99
5.2.3. Требования к изделиям для виброиспытаний	100
5.3. Модель для комплексных пневмогидравлических испытаний	101
5.3.1. Задачи пневмогидравлических испытаний.....	101
5.3.2. Некоторые особенности проведения испытаний.....	102
5.3.3. Требования в комплексному изделию для испытаний ПГС.....	102
5.4. Изделие для огневых испытаний.....	103
5.4.1. Задачи огневых комплексных испытаний	103
5.4.2. Требования к проведению испытаний	103
5.4.3. Требование к изделию для «огневых» испытаний	104

5.5. Изделие для комплексных тепловых испытаний	104
5.5.1. Задачи тепловых испытаний	104
5.5.2. Особенности проведения испытаний	106
5.5.3. Требования к изделию	106
5.6. Изделие для испытаний на разделение	106
5.6.1. Основные задачи испытаний	106
5.6.2. А Особенности проведения испытаний	107
5.6.3. Требования к изделию	109
5.7. Изделие для технологических испытаний	109
5.7.1. Основные задачи испытаний	109
5.7.2. Требования к изделию	110
5.8. Изделия для заправочных испытаний	111
5.8.1. Основные задачи испытаний	111
5.8.2. Требования к изделию	111
5.9. Стенд-электроаналог	111
5.9.1. Основные задачи испытаний	111
5.9.2. Особенности проведения испытаний	112
5.9.3. Требования к изделию	113
5.10. Изделие для испытаний радиотехнических систем	113
5.10.1. Основные задачи испытаний радиотехнических систем	113
5.10.2. Особенности испытаний изделия	113
5.10.3. Требования к изделию	114
5.11. Изделия для испытания на воздействия факторов космического пространства или поражающих факторов	114
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ПРОВЕРКЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛА (ЗАВОДСКИЕ ИСПЫТАНИЯ)	115
6.1. Виды контрольных испытаний	116
6.1.1. Установочные испытания	117
6.1.2. Периодические испытания	117
6.1.3. Контрольно-выборочные испытания	118
6.1.4. Предъявительские испытания	118
6.1.5. Приёмо-сдаточные испытания	118
6.1.6. Входной контроль	118

6.2. Виды испытаний на заводе-изготовителе	119
6.2.1. Внешний осмотр	119
6.2.2. Пневмогидроиспытания	119
6.2.3. Контроль целостности, неразрушающие методы контроля	122
6.2.4. Элекроиспытания	124
6.2.5. Контроль защиты изделия от воздействия статического электричества	125
6.2.7. Контроль размеров	126
6.2.8. Контрольное взвешивание	127
6.3. Метрология	128
6.3.1. Методы измерений.....	128
6.3.2. Средства измерений	130
6.3.3. Метрологические характеристики средств измерений	132
6.3.4. Погрешности измерений.....	133
6.3.5. Поверка средств измерения (СИ).....	135
7. ЛЁТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ ИСПЫТАНИЯ.....	137
7.1. Цель и задачи лётно-конструкторских испытаний	138
7.1.1. Лётно-конструкторские испытания	138
7.1.2. Задачи ЛКИ.....	138
7.2. Планирование лётно-конструкторских испытаний.....	140
7.2.1. Программа ЛКИ.....	140
7.2.2. Этапность проведения АКИ	141
7.2.3. Безопасность проведения испытаний.....	142
7.2.4. Количество лётных изделий	142
7.2.5. Завершение ЛКИ	143
7.3. Испытание изделий при подготовке на полигоне	143
8. СТЕНДОВАЯ БАЗА КОНСТРУКТОРСКИХ БЮРО И ОТРАСЛЕВЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ.....	147
8.1. Структура НСО.....	151
8.1.1. Исследовательские испытания	151
8.1.2. Стенды для проведения исследовательских испытаний.....	151
8.2. Испытания на этапе рабочего проектирования.....	155

8.2.1. Стенды для испытания на механические нагрузки агрегатов и узлов.....	156
8.2.2. Стенды для климатических испытаний	160
8.2.3. Специальные стенды для отработки агрегатов	165
8.3. Стендовая база для проведения комплексных испытаний	169
8.3.1. Комплекс для проведения статических испытаний изделия	170
8.3.2. Участок комплексных динамических испытаний.....	171
8.3.3. Комплексный стенд гидропроливочных испытаний ПГСП ДУ	177
8.3.4. Комплексный вакуумный стенд	178
8.3.5. Комплексный стенд испытаний батарей солнечных (БС)	182
8.3.6. Динамический стенд полунатурного моделирования динамических характеристик рулевых трактов с цифровой системой управления	185
8.4. Комплекс средств автоматизированных систем управления, измерения и обработки результатов испытаний.....	187
8.4.1. Универсальная система измерения (УСИ).....	187
8.4.2. Системы управления стенда разделения	190
8.5. Отраслевая стендовая база	190
9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВИБРОИСПЫТАНИЙ	195
9.1Руководство по эксплуатации электромеханический вибростенд	207
9.1.1. Краткое введение в принцип работы	207
9.1.2. Основные технические характеристики вибростенда	209
9.1.3. Описание интерфейса программы	210
9.1.4. Регулировка дебалансов	215
9.1.5. Работа с ремнем.....	218
9.1.6. Сервис	219
9.1.7. Инструкция для предотвращения нештатных ситуаций в процессе эксплуатации электромеханического вибростенда	220
9.1.8. Требования к охране окружающей среды и утилизации.....	220
9.1.9. Влияние на результаты испытаний места, способа монтажа, условий окружающей среды и других внешних воздействий.	221
9.1.10. Внешний вид вибростенды с основными размерами	222
9.1.11. Электрическая съема подключения.....	223

9.1.12. Схема разметки на рабочем столе расположения датчиков для проведения аттестации	224
9.1.13. Требования безопасности	224
10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ	226
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	249
БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	251

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

OSPL – Среднеквадратический уровень акустического давления;

АФЧХ – Амплитудная фазовая и частотная характеристика;

АЦК – Алгоритметрически-цифровой комплекс;

БАСУ – Бортовая аппаратура системы управления;

БПП – Блоки подрыва пиропатронов;

БС – Батарея солнечная;

ВИС – Вакуумно-излучательный стенд;

ВЦ – Вычислительный центр;

ГО – Головной обтекатель;

ДУ – Двигательная установка;

ЕСКД – Единая система конструкторской документации;

ЖРД – Жидкостной ракетный двигатель;

ЗИП – Запасной инструмент и принадлежности;

ЗО – Защитные операции;

ИИУС – Информационно-измерительная и управляющая система;

ИКИ – Инфракрасные имитаторы;

ИИ – Измерительный пункт;

ИПП – Имитатор пиропатронов;

КА – Космический аппарат;

КАО – Комплекс автоматизированной обработки;

КГЧ – Космическая головная часть;

КД – Конструкторская документация;

КИ – Комплексные испытания;

КИС – Контрольно-испытательная станция;

КНСГ – Контрольный набор стартовой готовности;

КПЭО – Комплексная программа экспериментальной отработки;

КСИСО – Комплекс средств измерений, сбора и обработки;

КТ – Компонент топлива;
ЛА – Летательный аппарат;
ЛИ – Летные испытания;
ЛКИ – Лётно-конструкторские испытания;
МВК – Межведомственная комиссия;
НАСУ – Наземная аппаратура системы управления;
НКУ – Наземный комплекс управления;
НСО – Наземно-стендовая отработка;
НТД – Нормативно-техническая документация;
НЭО – Наземная экспериментальная отработка;
ОИ – Объект испытаний;
ОКР – Опытно-конструкторская работа;
ОСИ – «Огневые» стендовые испытания;
ПВ – Проверочные включения;
ПГС – Пневмо-гидросистема;
ПГСП – Пневмогидравлическая система подачи;
ПИ – Программа испытаний;
ПКУ – Пульт контроля и управления;
ПМО – программно-математическое обеспечение;
ПОН – Программа обеспечения надежности;
РБ – Разгонный блок;
РКО – Резино-кордовые опоры;
РКТ – Ракетно-космическая техника;
РН – Ракета-носитель;
РСИ – Рабочие средства измерений;
САЗ – Система аварийной защиты;
СИ – Средства измерения;
СК – Стартовый комплекс;
СЛ – «Сигнальный листок»;

СПУ – Спектральная плотность ускорения;
ССН – Структурная схема надёжности;
СТ – Система термостатирования;
СТР – Система термо-регулирования;
СУ – Система управления;
СУИК – Система управления и измерения комплекса;
СУРТ – Система управления расходом топлива;
СУС – Система управления стендом;
СУСР – Система управления стенда разделения;
СФВО – Система форвакуумной откачки;
ТД – Технологическая документация;
ТЗ – Техническое задание;
ТК – Технический комплекс;
ТЛМ – Телеметрическая система;
ТТЗ – Тактико-техническое задание;
УКИ – Ускоренные климатические испытания;
УРМ – Универсальный ракетный модуль;
УСИ – Универсальная система измерения;
ФКП – Факторы космического пространства;
ФТ – Функциональные тракты;
ХНА – Холодильно-нагревательный агрегат;
ХО – Хвостовой отсек;
ЭБ – Экспериментальная база;
ЭГС – Электрогидравлический сервопривод;
ЭД – Эксплуатационная документация;
ЭМС – Электромагнитная совместимость;
ЭО – Экспериментальная отработка;
ЭЛ – Эскизного проектирования;
ЭСР – Электростатический разряд.

ВВЕДЕНИЕ

Испытания ракетно-космической техники (РКТ) — это важный этап её создания. В основу создания любого вида техники закладываются результаты испытаний предыдущих версий и вариантов, а завершается процесс создания получением результатов испытания нового образца. Таким образом, процесс начинается и заканчивается испытаниями. Для ракетно-космической техники испытания имеют первостепенное значение, так как эта техника действует без вмешательства человека и без возможности доступа к ней для регламентных работ или ремонта. Даже для пилотируемой техники типа космических станций или специальных миссий на орбите, таких как ремонт телескопа Хаббла, влияние человека на процесс функционирования крайне ограничен и заложен заранее на начальном этапе создания данного изделия и, кроме этого, тщательно отработан на Земле. В этих условиях только всеобъемлющие и правильно спланированные испытания могут обеспечить качество и надёжность ракетно-космической техники.

Основой требуемого уровня надёжности летательных аппаратов (ЛА) является их наземная стендовая отработка (НСО) в условиях, близких к условиям функционирования. Только в результате НСО появляется техническая возможность принятия решения о начале лётных испытаний комплекса с решением задач выведения полезных нагрузок на целевые орбиты. Главным условием достижения такого результата является обеспечение заданного уровня надёжности опытных образцов изделий перед началом лётных испытаний. Для решения данной задачи наземная экспериментальная отработка (НЭО) должна проводиться при максимально возможной имитации различных внешних и внутренних факторов, действующих в условиях полёта. При этом должны рассматриваться возможные аварийные ситуации с максимальным охватом предельных сочетаний действующих факторов. Сложность процесса НСО требует тщательно спланированных действий, основанных на научном подходе

к решению каждого этапа испытаний и системного анализа всех входящих в процесс функционирования компонентов. При планировании НСО необходимо учитывать особенности ЛА, связанные решением основной целевой задачи. К ним можно отнести:

1) Жёсткое ограничение по массе изделий, что требует постоянного контроля на всех этапах проектирования и изготовления, а минимизация массы предъявляет, в свою очередь, повышенные требования к жёсткости элементов корпусов и каркаса;

2) Сложность изделий, состоящих из большого количества деталей, их количество может достигать до 200 тыс. единиц, что требует большого объёма сборочных работ;

3) Наличие большого количества систем, входящих в ЛА, что требует создания большого количества связей между приборами – электрических (проводов), пневмогидравлических (трубопроводов);

4) Наличие сложных пневмогидравлических систем предъявляет специфические требования к изделиям по герметичности и промышленной чистоте. Эти особенности накладывают соответствующие условия на виды и объёмы испытаний, входящих в НЭО.

1. ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

1.1. Основные этапы создания РКТ

Порядок создания РКТ определяется рядом нормативных документов. В процессе жизненного цикла изделие проходит ряд следующих этапов:

- Техническое предложение или аванпроект;
- Эскизный проект;
- Технический проект;
- Разработка конструкторской документации;
- Подготовка производства;
- Изготовление опытных образцов;
- Экспериментальная отработка;
- Изготовление лётных образцов;
- Лётные испытания;
- Подготовка серийного производства;
- Сдача изделия в эксплуатацию.

На каждом из этих этапов проводятся различные виды испытаний, имеющие свои особенности. Создание РКТ начинается с проекта, при разработке которого в первую очередь производится увязка основных проектных параметров для выполнения требований тактико-технического задания, определяется облик изделия и его составных частей. После определения облика изделия производится создание необходимых математических моделей: баллистических, аэродинамических, динамических, тепловых, гидравлических для определения внешних воздействий, внутренних процессов, характеристик изделия и путей решения целевой задачи. Модели на этапе проекта создаются с использованием результатов испытаний изделий-аналогов или испытаний специальных моделей, чаще всего масштабных, то есть уменьшенных. На этапе разработки конструкторской документации (КД) необходимо создание экспериментальных изделий, то есть изделий максимально приближённых к реальному изделию. Это требуется для проверки правильности КД, которая

начинается при изготовлении первых образцов, а в дальнейшем продолжается при проведении всесторонних испытаний экспериментальных изделий. Испытания экспериментальных изделий (образцов) позволяют получить необходимые данные для проверки соответствия их исходным данным, заданным в поставленной задаче и реализованным в КД. По результатам испытаний определяются несоответствия параметров изделий заданным, определяется необходимость и дорабатывается проект, затем дорабатывается КД, и, при необходимости, опять повторяются испытания. Таким образом, процесс создания изделия является итерационным, где важнейшим этапом являются испытания. После завершения наземной отработки начинается этап лётных испытаний, на котором изделие проверяется в реальных условиях на соответствие исходным требованиям. Только после завершения этого этапа возможен переход к серийному производству и эксплуатации изделия.

1.2. Моделирование

При проведении испытаний используют два вида моделей: физические и математические. Физическая модель воспроизводит объект испытаний с сохранением его физической природы и происходящих в нём процессов. Математическая модель представляет собой математические соотношения, описывающие объект испытаний и происходящие в нём процессы при внешних воздействиях.

Физическое моделирование применяется при исследовании объекта с помощью прямых измерений экспериментальных характеристик самого объекта и процессов, происходящих в нём.

Математическое моделирование применяется, когда можно рассчитать параметры, определяющие поведение объекта испытаний.

Математические модели, использующие дискретные значения исходных данных и результатов расчёта, называют цифровым моделированием. Для точного описания процесса необходим многократный расчёт цифровой модели, что называется имитационным моделированием.

К недостаткам математического моделирования относятся отсутствие достоверной информации, используемой в модели, и приближённость математических зависимостей. Это связано с тем, что модель всегда использует приближённое описание процесса, а оценка её адекватности может быть недостоверной.

Сложную систему невозможно описать в единой модели, поэтому в модели используется модульный принцип. Кроме этого, различные части системы могут быть описаны моделями с разной степенью точности. Наиболее эффективные результаты получаются, когда используется иерархический подход к построению модели, состоящей из взаимоподчинённых подсистем, связанных между собой в многоуровневую систему.

1.3. Состав космических систем

Изделия РКТ являются сложными техническими системами. На рисунке представлен типовой пример космического комплекса. Изделие РКТ состоит из ракеты-носителя (РН) для доставки полезного груза на орбиту Земли, разгонного блока (РБ) для межорбитальной транспортировки, космического аппарата (КА) для выполнения целевых функций на орбите и головного обтекателя (ГО) для защиты КА при полёте через атмосферу. Для доставки указанных изделий на полигон используются специальные средства доставки - контейнеры, специальные вагоны, тележки.

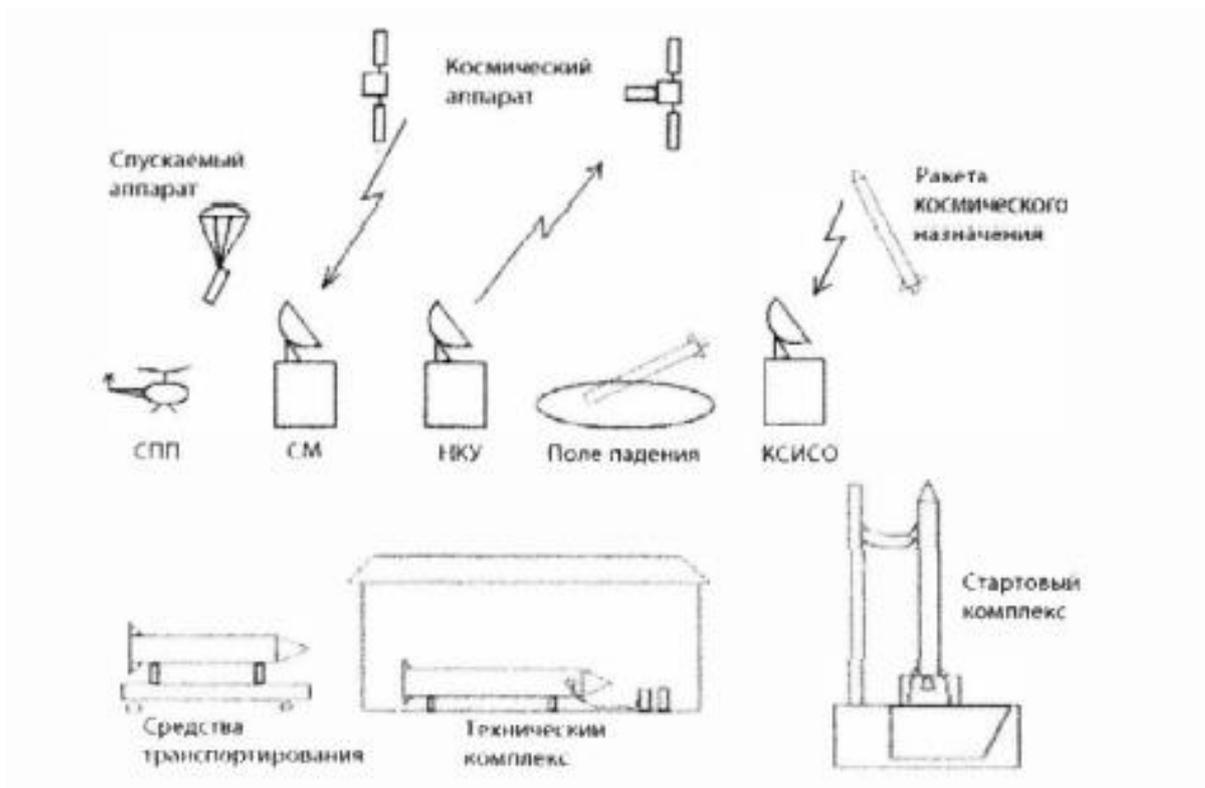


Рисунок 1.1 – Схема космического комплекса:

СПП - система обеспечения полей падения; СМ - станция мониторинга; НКУ - наземный комплекс управления; КСИСО - комплекс средств измерений, сбора и обработки информации

Для сборки и проверок на полигоне используется комплекс сооружений и оборудования, так называемый технический комплекс (ТК). Когда изделие готово для запуска, оно доставляется на стартовый комплекс, состоящий из пускового устройства и комплекса систем и сооружений, обеспечивающих запуск.



Рисунок 1.2 – Технический комплекс

При полете необходим контроль за ракетой, поэтому на Земле имеются измерительные пункты (ИП), принимающие телеметрическую информацию и передающие её в вычислительные центры (ВЦ), таким образом формируется комплекс средств измерений, сбора и обработки информации с ракеты (КСИСО). Отделяющиеся части (ступени) ракеты падают в специально отведённые поля падения, и требуются средства для сбора, утилизации и обслуживания этих полей. Космическим аппаратом после выхода на целевую орбиту необходимо управлять, для этого создаётся наземный комплекс управления (НКУ). При работе целевой аппаратуры КА необходим комплекс приёма, обработки и мониторинга целевой информации. Для космических аппаратов, имеющих посадочные модули, необходимы средства поиска и спасения. Все эти системы вместе и образуют космический комплекс.



Рисунок 1.3 – Стартовый комплекс



Рисунок 1.4 – Поле падения 1-й ступени

1.4. Классификация испытаний

Для каждого этапа жизненного цикла изделия характерен определённый тип испытаний. Основные классификации испытаний определяются ГОСТ16504-81. Испытания можно разделить на определительные - с целью определения фактических показателей функционирования, и контрольные - на соответствие показателей, заданным в ТЗ. В зависимости от приближения к условиям эксплуатации испытания можно характеризовать как стендовые или имитационные и натурные. Контрольные испытания направлены на выявления ошибок, возникающих в процессе испытаний, ошибок производства, обслуживания и эксплуатации. На этапе разработки изделия испытания делятся на исследовательские, автономные и комплексные.

1.4.1. Исследовательские испытания

Исследовательские испытания проводятся на этапах техпредложения и эскизного проекта, а также на этапе научно-исследовательских работ, предшествующих техпредложению, для определения путей решения различных проблем, стоящих перед созданием нового изделия. Важной задачей исследовательских испытаний является подтверждение адекватности математических моделей, используемых для создания изделия.

1.4.2. Автономные испытания

Автономные испытания — это комплекс различных видов испытаний для всесторонней отработки изделий, узлов, агрегатов и систем, входящих в изделия. Автономные испытания являются основой экспериментальной отработки любого изделия. Состав изделия РКТ можно представить в виде иерархической системы нескольких уровней. Вся система экспериментальной отработки строится на последовательных испытаниях изделий все более высоких иерархических уровней. Так, после успешных испытаний агрегатов и узлов переходят к испытаниям систем и корпуса, а на завершающем этапе испытывают изделие целиком. Каждый уровень представляет собой ряд автономных изделий, начиная от узлов и агрегатов до подсистем, систем и комплексов, причём с каждым более высоким уровнем происходит постепенное усложнение изделий.

Автономные испытания проводятся для каждого изделия каждого уровня сложности этой системы. Низший уровень определяется простейшими изделиями, состоящими из отдельных деталей, не имеющих самостоятельного применения, и для которых автономные испытания не проводятся, а качество и надёжность этих деталей определяется соответствием их КД. Автономные испытания нацелены на всестороннюю проверку характеристик изделия, на правильность КД и подтверждение надёжности и безопасности изделия.

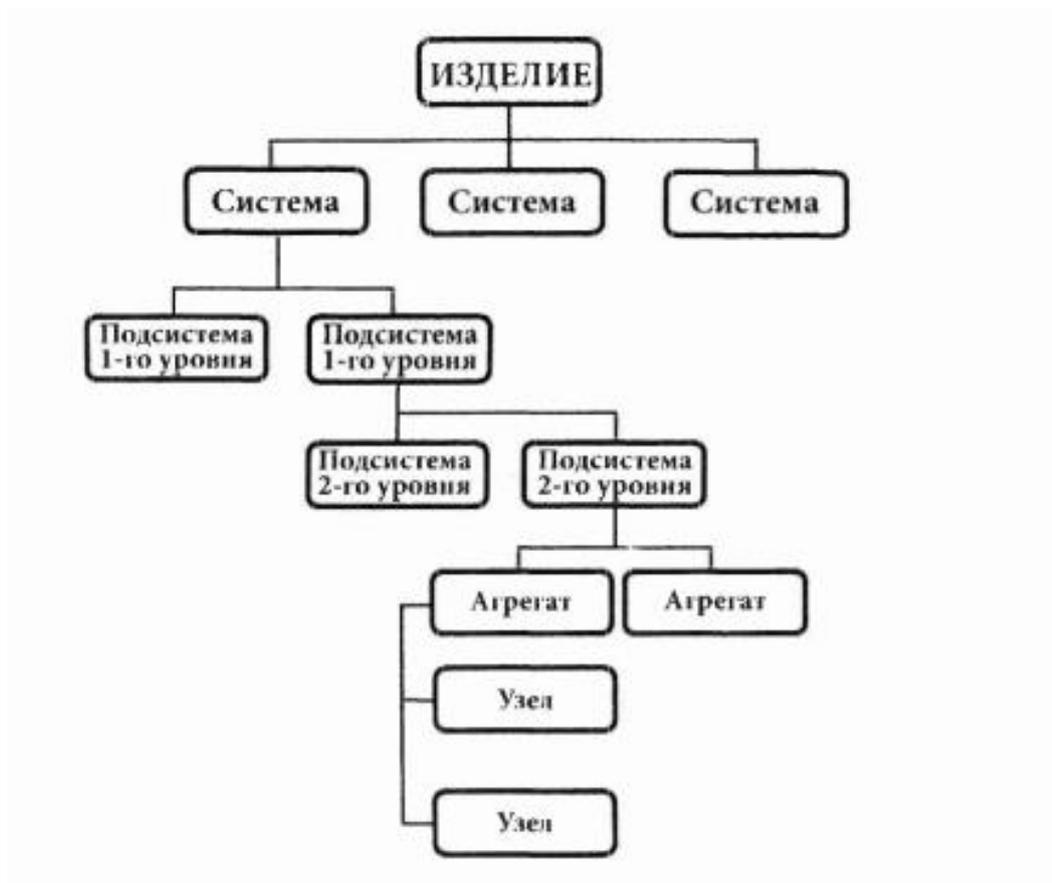


Рисунок 1.5 – Типовая иерархическая структура создаваемого изделия

Каждый элемент иерархической системы имеет связи с элементами на своём уровне, а также с элементами других уровней. Для отработки этих связей проводятся комплексные испытания.

1.4.3. Комплексные испытания

Комплексные испытания проводятся для определения взаимодействия систем друг с другом, взаимовлияния, определения интерфейсов. В отличие от автономных испытаний они нацелены в первую очередь на проверку

правильности принятых конструкторских решений, проверку характеристик интерфейсов и программно-математического обеспечения (ПМО). Это связано с тем, что сами системы уже отработаны на надёжность, а элементы связей, кабели и трубопроводы, имеют надёжность, близкую к 1,0. Комплексные испытания обычно проводятся на специальных стендовых установках или, если возможно, на полноразмерных изделиях. При этом имитация внешних условий определяется решаемыми задачами. Комплексные испытания являются составной частью экспериментальной отработки изделия и нацелены на подтверждение конструкторских решений и документации, а также на подтверждение возможности перехода к натурным испытаниям штатных (реальных) изделий. Наземные автономные испытания и наземные комплексные испытания, для которых создаются специальные испытательные стенды, называются стендовыми. Устранение ошибок и недоработок проектно-конструкторского характера осуществляется на всех этапах испытаний. Экспериментальная отработка на полностью собранном изделии наиболее дорогая часть испытаний, поэтому испытания проводятся на большом объёме автономных и комплексных испытаний отдельных узлов и агрегатов.

1.4.4. Лётные испытания

Лётные испытания (натурные) - испытание изделий в реальных условиях с проверкой решения целевых задач. Главной целью лётных испытаний является подтверждение требований к изделию, заложенных в ТЗ.

1.4.5. Контрольные (заводские) испытания

Контрольные или заводские испытания — это проверка качества изготовления изделия или его составных частей, и проверка соответствия изготовленных изделий КД.

1.4.6. Сертификация

Сертификация — это испытания на соответствие характеристик продукции национальным или международным стандартам. Сертификация — это действия третьей стороны, доказывающие, что обеспечивается необходимая уверенность

в том, что должным образом идентифицированная продукция, процесс или услуга соответствуют конкретному стандарту или нормативному документу.

1.5. Задачи, решаемые при проведении испытаний

При проведении испытаний решаются две основных задачи: проверка параметров изделий и испытания на надёжность. К параметрам изделий относятся параметры, определяющие различные свойства материалов и конструкций: физические, механические, химические, электрические, динамические, оптические и т. д. Также определяются комплексные параметры функционирования, ресурс, устойчивость, герметичность, защищённость, вторичные воздействия, такие как электромагнитное возмущение. Испытания на надёжность строятся таким образом, чтобы подтвердить испытаниями заданный уровень показателей надёжности. При проведении испытаний определяются не только абсолютные значения параметров изделия, но и их запасы по отношению к номинальным значениям, заданным на основании результатов моделирования. Знание запасов позволяет рассчитывать показатели надёжности изделия. Для подтверждения показателей надёжности проводятся как многократные испытания, так и испытания на предельных условиях. Ускоренные испытания по принципу организации подразделяются на сокращённые и форсированные. Сокращённые подразумевают уменьшение времени испытаний по сравнению с эксплуатационным, а форсированные - увеличение действующих нагрузок. Форсирование определяется необходимостью интенсификации появления отказов и уменьшению времени наработки на отказ. Ускоренные испытания чаще всего планируются как сокращённо-форсированные.

1.6. Определение условий проведения испытаний

При проведении испытаний прежде всего определяются цели испытаний. Они зависят от вида испытаний и этапа отработки изделия. Далее определяются задачи, которые зависят от варианта функционирования изделия и моделирования внешних условий. При функционировании изделия возможность достижения требуемого результата основывается на заданной циклограмме функционирования изделия и вариантах внешних воздействий, или как это

называется, расчётных случаях. Определение внешних условий и воздействий для каждого варианта функционирования позволяет выявить худшие сочетания внешних условий для каждого варианта. После определения всех необходимых расчётных случаев определяются возможности физического моделирование заданных условий на стендовых установках. При определении возможности реализации испытания важным фактором являются экономические показатели. Любые испытания — это рекуррентные затраты, так как возможность использования универсальных стендов и оборудования в значительной степени ограничено. Невозможность или дороговизна физического моделирования заданных условий при испытаниях говорит о неправильно спроектированном изделии. Необходимо всегда помнить, что в РКТ всегда решается задача не только создать изделие, но и максимально подтвердить его свойства на этапе наземных испытаний.

1.7. Точность методов испытаний

В соответствии с нормативной документацией различаются следующие характеристики точности методов испытаний: чувствительность, адекватность, точность, правильность, повторяемость и воспроизводимость. Чувствительность характеризуется минимальной величиной измерения оцениваемого параметра. Адекватность характеризуется соотношением условий испытаний эксплуатационным условиям объекта испытаний. Учитывая, что весь комплекс условий эксплуатации воспроизвести при испытаниях невозможно, важнейшим условием организации испытания является адекватность физической модели по определённым показателям реальному объекту и условиям эксплуатации.

Точность результатов испытаний характеризуется мерой близости полученного результата к истинному значению.

Точность измерений (точность прибора) принято характеризовать при помощи среднего квадратического отклонения случайных ошибок измерений. Для оценки о используют «исправленное» среднее квадратическое отклонение, которое равно квадратному корню из исправленной дисперсии:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (1.1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (1.2)$$

где x_i случайное значение; \bar{x} - среднее значение; n_i - частота значения x_i ; n - объём совокупности.

Обычно результаты измерений взаимно независимы, имеют одно и то же математическое ожидание (истинное значение измеряемой величины). Математическое ожидание $M(X)$ дискретной случайной величины определяется равенством:

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (1.3)$$

где p_i - вероятность случайной величины x_i .

При выборке малого объёма следует пользоваться интервальными оценками.

Доверительный интервал покрывает неизвестный параметр θ с заданной надёжностью γ . Число δ характеризует точность оценки:

$$\delta = t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.4)$$

Величина обратная точности называется погрешностью результата:

$$e = |x_{\text{действ}} - x_{\text{эталон}}| \quad (1.5)$$

В процессе многократных измерений какой-либо величины мы получаем ряд результатов, погрешность каждого из которых может содержать систематическую и случайную составляющие. Увеличивая число измерений и усредняя их результаты, мы уменьшаем случайную составляющую

погрешности. Однако даже при очень большом числе измерений средний их результат может содержать систематическую погрешность. Поэтому с увеличением числа измерений мы приближаемся к математическому ожиданию результата измерения, которое может быть смещено относительно действительного значения измеряемой величины. Многократные измерения с вычислением среднего результата используют, как правило, при градуировках цепей измерения усилий, крутящих моментов, давлений, перепадов и расходов, а также ряда других параметров.

Кроме того, указанную методику измерения применяют при испытаниях изделий.

Наиболее часто используемым способом выражения точности измерения является задание интервала, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность. Самая полная информация о точности измерения обеспечивается, если даны функции распределения систематической и случайной составляющих. На практике часто встречаются распределения случайных погрешностей измерения, близкие к нормальному закону.

Отличительной особенностью систематической погрешности является то, что она остаётся постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Типичный пример систематических погрешностей - погрешности, допускаемые при градуировках. Случайная погрешность при повторных измерениях постоянной величины изменяется случайным образом. Характеристики систематической и случайной составляющих погрешности, так же как суммарная погрешность, входят в число метрологических характеристик средств измерений, из которых формируются комплексы нормируемых характеристик. Случайная погрешность в математической статистике оценивается величиной дисперсии. Правильность результата - близость систематической погрешности к нулю.

Повторяемость характеризуется близостью результатов двух последовательных результатов.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

2.1. Цели и задачи испытаний

При организации проведения любых испытаний необходимо в первую очередь определить цель испытаний. Как было сказано выше, цель испытаний определяется видом и этапом проведения испытаний. Например, при проведении автономных испытаний на доводочном этапе целью испытаний является подтверждение работоспособности изделия или поиск наилучшего конструктивного варианта узла. По этому критерию доводочные испытания часто относят к исследовательским. Целью на приёмочном этапе является подтверждение соответствия свойств объекта требованиям ТЗ. Определив цель, можно поставить задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели. К задачам относится определение конкретных характеристик изделия, подтверждающих его работоспособность в заданных условиях применения. Важным фактором, который необходимо учитывать при планировании испытаний, является определение функциональной избыточности заданных характеристик, которая повышает надёжность и безопасность эксплуатации изделия. К задачам относится также определение выходных параметров и эксплуатационных качеств объекта, проверка ресурса и стойкости к внешним воздействиям. Зная цель испытаний, можно легко определить виды отказов и критерии выполнения поставленных задач. Понятие отказа и дефекта очень важны при организации испытаний, они позволяют нормировать порядок проведения испытаний.

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Дефект - несоответствие продукции установленным требованиям. Обнаружение дефекта не требует однозначной доработки объекта, в то время как появление отказа требует доработки. Причиной конструктивных дефектов может быть неполное соответствие технических характеристик заданным требованиям, неправильный выбор комплектующих и материалов, недостаточный учёт условий эксплуатации, ошибки при проектировании и

экспериментальной отработки. Причинами производственных дефектов может быть несоответствие изделия конструкторской документации, неправильный выбор технологии, нарушения технологии и ошибки в технологической документации.

Отказы могут быть первичными, когда отказавший элемент является причиной отказа, или вторичные, когда отказ является следствием предыдущих избыточных или неправильных воздействий, сопряжённого элемента, внешней среды или оператора. Отказы могут быть внезапные или постепенные.

Если отказ является кратковременным и самоустраняющимся, то его называют сбоем. При выявлении дефектов и отказов все они должны анализироваться и устраняться, а объект испытаний должен пройти повторные испытания. В качестве показателя технической эффективности принимают вероятность выполнения системой поставленной перед ней задачи. Любое испытание на этапе экспериментальной отработки направлено на выявление дефектов. Устранение дефектов приводит к повышению эффективности изделия. Необходимо отметить, что отсутствие конкретной цели испытаний приводит к невозможности определить результат этих испытаний, а, соответственно, к бессмысленности проведённых работ и понесённых затрат.

2.2. Схема проведения испытаний

Схема проведения испытаний представлена в общем виде. Для проведения испытания в первую очередь необходимо обеспечить функционирование объекта испытаний, что требует создания системы управления объектом испытаний. Управляющие воздействия могут быть электрические, пневматические или гидравлические. Для их подачи на объект необходимо обеспечить связи между системой управления и объектом. Для функционирования связей необходимо иметь источники питания - это либо источник электроэнергии, либо источник энергии для пневмосистем или гидросистем. Система управления объектом испытаний может быть сложнее системы управления штатного изделия или может быть очень простой,

например, для открытия клапана, а может её вообще не быть, если необходимо разорвать стандартный образец.

Для реализации условий функционирования объекта необходимо подать на него внешние воздействия, поэтому необходимо иметь оборудование, имитирующее эти воздействия. Для возбуждения вибрации используются вибростенды: для тепловых нагрузок - нагреватели или холодильники, для силовых нагрузок - силовозбудители, для испытаний на факторы космического воздействия на КА - вакуумные камеры.

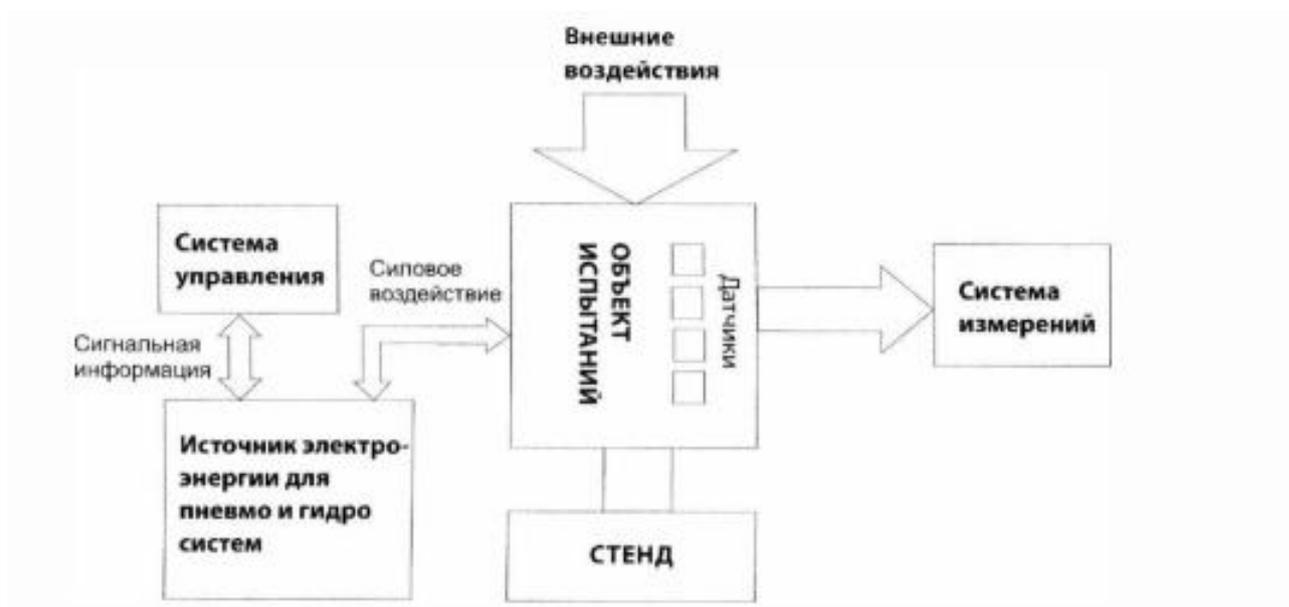


Рисунок 2.1 – Общая схема испытаний

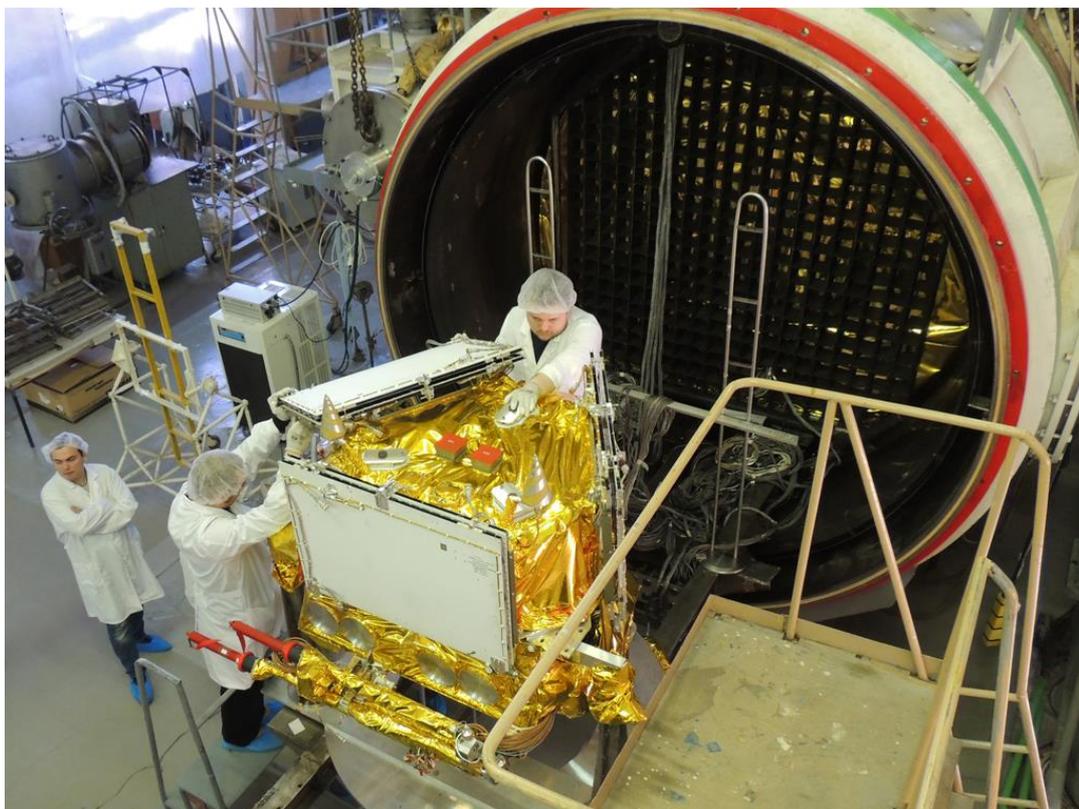


Рисунок 2.2 – Испытания

Прикладывая к объекту различные воздействия, необходимо понимать, как изделие реагирует на них. Соответственно, нужна система измерений, которая включает в себя датчики, установленные на объекте, оборудование по приёму сигналов от датчиков и обработке измеряемых параметров. Набор датчиков определяется задачами, которые поставлены перед испытаниями.

Таким образом, вместе с оснасткой для крепления объекта всё необходимое оборудование объединяется в единый испытательный стенд. При проведении комплексных испытаний РКТ стенды могут быть существенно сложнее и дороже самих изделий. Это требует тщательного планирования объёмов и видов испытаний.

Стендовые испытания проводятся как с применением универсального стендового оборудования и средств измерения, собранных в единую систему, так и с применением специальных стендов для конкретных испытаний. Испытательный стенд предназначен как для испытаний конкретного изделия, так и для нескольких однотипных изделий.

Испытательный стенд — это техническое устройство для установки объекта испытаний в заданное положение, создания необходимых воздействий, получения информации о состоянии объекта испытаний и управления всем процессом испытаний. Сложность испытательных стендов возрастает при увеличении воздействий на объект испытаний и количества измеряемых параметров, подтверждающих качество изделий. Часто сложность испытательных стендов сопоставима со сложностью испытываемых изделий. Одной из важнейших задач является создание устройств, имитирующих внешние изделия, максимально приближённые к условиям эксплуатации.

Качество испытательного оборудования определяет точность получения результатов, правильность их интерпретации и их воспроизводимость.

2.3. Виды внешних воздействий при испытаниях

Технология проведения испытаний в первую очередь зависит от вида внешних воздействий. Это связано с особенностями моделирования самих внешних воздействий. В ряде случаев можно воспользоваться стандартными устройствами. Например, для нагрева объекта можно использовать промышленный инфракрасный нагреватель или даже бытовой, а для приложения статической нагрузки можно воспользоваться обычными гирями. Но в большинстве случаев требуется создание специальных устройств или систем для моделирования внешних условий. Одним из сложнейших устройств является крупногабаритная вакуум-камера для испытания КА, оборудованная системами имитации факторов космического пространства.

В соответствии с ГОСТ 21964-76 все внешние воздействия делятся на механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, термические и воздействия специальных сред. Каждый класс, в свою очередь, подразделяется на группы.

Значительное количество воздействующих факторов требует разделения их на определённую последовательность испытаний. В общем случае последовательность проведения испытаний зависит от стадий жизненного цикла изделия. Порядок может быть последовательным, параллельным, когда изделие

подвергается сразу нескольким видам воздействия, и комбинированным, последовательно параллельным. При последовательном способе испытаний необходимо учитывать наиболее эффективное выявление отказов, когда предыдущие испытания создают предпосылки для появления отказов на последующих стадиях. Кроме особенностей моделирования внешних воздействий, значительно изменяются и сами объекты испытаний. Они должны не только имитировать штатное изделие, но и быть приспособленными для восприятия заданных видов воздействия. Например, для подачи внутреннего давления в объект он должен быть оборудован устройствами для подключения к стендовой пневмосистеме.

Таким образом, с учётом видов воздействий и особенностей объектов испытаний создаются принципиально разные технологии их проведения, что позволяет разделить испытания на различные виды.

В зависимости от внешних воздействий испытания могут быть механическими, средовыми или электрическими. К средовым испытаниям относятся климатические и испытания на воздействие факторов космического пространства. К электрическим испытаниям относятся испытания электрической изоляции и электрического сопротивления.

При планировании наземной отработки используются имитационные модели, позволяющие оценить этапность проведения испытаний и их объёмы.

2.4. Испытания на воздействие механических нагрузок

Механические нагрузки делятся на несколько видов по характеру их воздействия на объект. Статические нагрузки связаны с приложением к объекту системы уравновешенных сил, соответственно, динамические - приложением неуравновешенных сил. К динамическим нагрузкам относятся инерционные нагрузки при действии постоянной, линейной или нелинейной перегрузки. Среди динамических нагрузок в нелинейной постановке выделяют вибрационные и ударные нагрузки. Вибрации носят непрерывный характер, а ударные нагрузки - дискретный.

2.4.1. Статические испытания

Статическими испытаниями называется временное приложение нагрузки к объекту. Различают сосредоточенное и распределённое приложение нагрузки. Для приложения нагрузок объект должен быть оборудован специальными приспособлениями, обеспечивающими концентрацию или распределение нагрузки.

Для распределения нагрузок по криволинейной поверхности обычно используют систему качалок. Для приложения нагрузок к технологическим стыкам изделие должно быть оснащено имитаторами смежных отсеков, соответствующими их жёсткости.

Возбуждение силы производится обычно гидравлическими силовозбудителями, присоединёнными непосредственно к объекту или через систему рычагов. При передаче нагрузок через систему рычагов или качалок при определении испытательных нагрузок необходимо учитывать потери на трение в шарнирах стендовых систем. Силовозбудители работают в диапазоне 0,5-200 Тс.

Целью статических испытаний является определение прочности, жёсткостных характеристик силовой конструкции и проверка правильности расчётных моделей. К задачам относятся проверка общей и местной прочности, определение несущей способности и подтверждение правильности выбранной силовой схемы изделия.

2.4.1.1. Схемы испытаний

При испытании отсеков РН могут применяться упрощённые испытания эквивалентной сжимающей нагрузкой.

Основным недостатком данного метода является существенная перегрузка объекта. Для отсеков, к которым предъявляются высокие требования по массовому совершенству, проводятся испытания с приложением комбинации нагрузок.

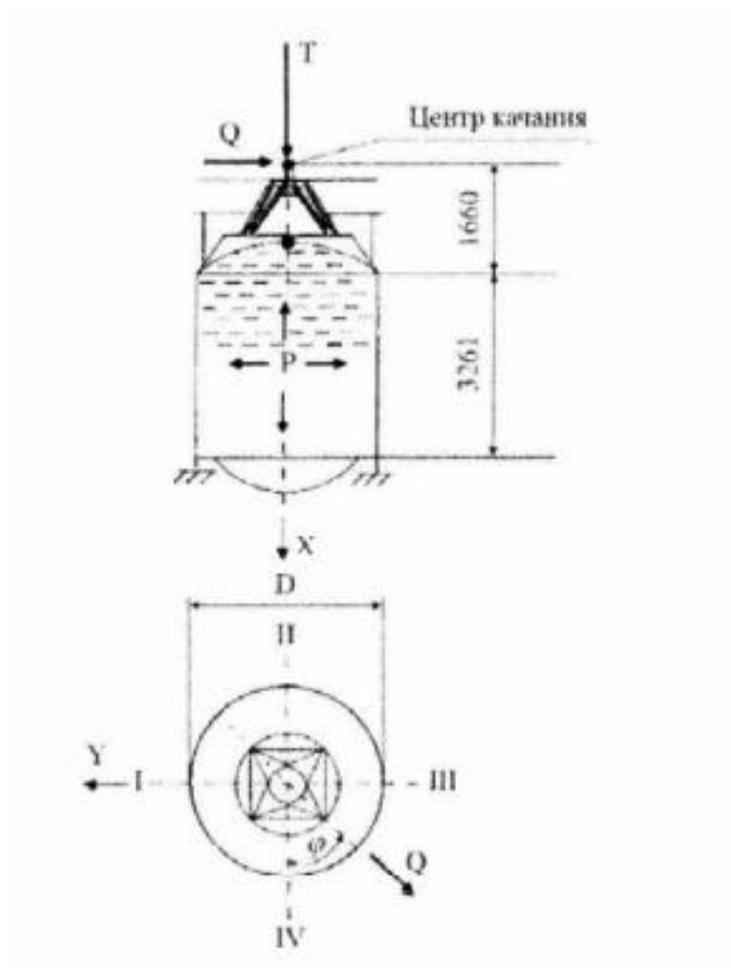


Рисунок 2.3 – Типовая схема приложения к объекту испытаний комбинированных нагрузок

При определении испытательных нагрузок максимальные эксплуатационные нагрузки увеличиваются на коэффициент безопасности, обеспечивающий заданный уровень надёжности конструкции.

Для определения несущей способности конструкции проводят испытания до разрушения с фиксацией разрушающих нагрузок.

В ряде случаев, когда нужно нагрузить внутренние монтажные (вторичные) элементы конструкции, используются инерциальные силы. На макет изделия устанавливаются массовые имитаторы приборов и агрегатов и испытания проводятся на центрифуге, создающей требуемые перегрузки при вращении.

2.4.1.2. Испытания на внутреннее давление

К статическим испытаниям относятся также испытания на наружное и внутреннее давление. Испытания на внутреннее давление достаточно простые и с целью безопасности проводятся заполнением ёмкости жидкостью. При этом, определяя испытательное давление, необходимо учитывать столб жидкости.

Подачу давления осуществляют подачей сжатого газа непосредственно в ёмкость или через промежуточный цилиндр. Если ёмкость заполнить жидкостью нельзя ввиду её большой массы, то испытания по подаче давления газом необходимо проводить в бронекамере. Сосуд, заполненный газом, при разрушении создаёт большое количество быстродвижущихся осколков, что чрезвычайно опасно. По требованиям государственной инспекции по сосудам давления «Котлонадзор» допускается повышение давления в сосуде без защиты при выполнении условия: $PV < 20$ атм/л.

2.4.1.3. Испытания на наружное давление

Подача наружного давления технологически более сложная операция и осуществляется разными методами. Создание давления в одну атмосферу на поверхность герметичной ёмкости обеспечивается откачкой воздуха изнутри вакуумным насосом. Создание больших давлений может быть обеспечено погружением объекта в жидкость или увеличением давления жидкости в испытательной ёмкости.

Локальные или переменные давления реализуются с помощью подачи давления в герметичные мешки, расположенные в зазоре между поверхностью объекта и стендовой оснасткой.

2.4.2. Динамические испытания

Динамические испытания заключаются в приложении к объекту нестационарных нагрузок. Учитывая сложный характер динамических воздействий, зависящий от формы изменения нагрузки, частоты изменений, от характера передачи этих нагрузок на объект, а также от реакции самого объекта, существует большое количество разновидностей этих испытаний.

Различают частотные испытания, испытания на вибропрочность при подаче ударных воздействий и синусоидальных вибраций, транспортные

испытания, усталостные и циклические испытания, испытания на воздействие пульсаций давлений, акустические испытания.

2.4.2.1. Частотные испытания

Частотные испытания проводятся с целью определения собственных частот и форм колебаний объекта в целом и его составных частей. Это важные свойства конструкции, влияющие на работоспособность как отдельных узлов, так и изделия РКТ в целом. Частоты и формы собственных колебаний изделия чаще всего определяют резонансным методом. Размещённые на конструкции вибродатчики позволяют измерить параметры процесса колебаний, установить природу появления резонансов.

Кроме этого, знание собственных частот позволяет адекватно провести испытания на вибропрочность. При частотных испытаниях определяются также коэффициенты демпфирования элементов конструкции.

Знание динамических характеристик конструкции позволяет верифицировать динамическую модель изделия, используемую для определения нагрузок, действующих на изделие, а также используемую для исследования управляемости и устойчивости РН в полёте.

Методы определения собственных частот, форм колебаний и коэффициентов демпфирования основаны на возбуждении гармонических колебаний объекта.

Возбуждение колебаний в простейшем случае производится одной силой, а искомые величины определяются путём анализа измеренных частотных характеристик в различных точках объекта. Собственные частоты и коэффициенты демпфирования определяются по осциллограмме процесса затухания свободных колебаний.

Существует большое количество различных методов определения динамических характеристик используемых для различных задач и объектов.

2.4.2.2. Испытания на вибропрочность

Испытания на вибропрочность проводятся путём приложения к изделию динамических воздействий, соответствующих эксплуатационным. Целью

вибропрочностных испытаний является проверка прочности крепления навесного оборудования, т. е. вторичных структур, а также проверка ресурсных характеристик объекта.

Нагрузки при виброиспытаниях

Вибропрочностные испытания проводятся на нормированные нагрузки. При этом должны учитываться собственные формы колебаний и частот и особенности режимов эксплуатации изделий. Нормы определяют диапазоны частот и максимальные перегрузки на этих частотах.

Для имитации динамических нагружений используется гармоническая вибрация, при которой частота меняется плавно по времени, а амплитуды - в соответствии с заданными нормами (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Вибрационные нагрузки на КА при выведении на РКН

Диапазон частот, Гц	Амплитуда виброускорения, mс^{-2} (g)		Время действия
	X	Y,Z	
5-8	13,73 (1,40)	3,92 (0,40)	Скорость прохождения 4 окт/мин
8-10	13,73(1,40)	3,92 (0,40)	
10-20	13,73 (1,40)	3,92 (0,40)	
20-40	5,88 (0,60)	5,88 (0,60)	
40-100	5,88 (0,60)	5,88 (0,60)	

При подходе к резонансным частотам делаются вырезки в частотном диапазоне, чтобы не перегрузить конструкцию.

В специальных случаях могут задаваться нормы на отдельные частоты.

Для испытаний используются вибростенды, различающиеся по мощности и спектру воспроизводимых частот, рассчитанных на различные массы испытуемых объектов. Учитывая, что полностью смоделировать спектр частот и амплитуд реального воздействия на изделие невозможно, испытания на вибропрочность разбиваются на этапы.

2.4.2.3. Транспортные испытания

Транспортные испытания направлены на подтверждение усталостной прочности изделия при длительном действии повторяющихся нагрузок, возникающих при транспортировании изделия. Самое простое решение - погрузить модель изделия на транспортное средство, автомобиль или поезд, и возить необходимое время. Именно так часто и поступают. Однако в ряде случаев это невозможно осуществить, и в этом случае транспортные нагрузки моделируются на вибростенде.

Для моделирования динамических нагрузок при транспортировании используются нагружения случайными вибрациями до частот 50 Гц. При испытаниях задаётся время действия нагрузки и спектральная плотность в зависимости от частоты (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Спектральная плотность виброускорений при автономной железнодорожной транспортировке

Спектральная плотность $10^{-5} \text{ g}^2 \text{ Гц}^{-1}$ ($10^{-3} \text{ м}^2 \text{ с}^{-4} \text{ Гц}^{-1}$)			
Частота, Гц	Ось OX	Ось OY	Ось OZ
2	7,5	15,0	15,0
4	57,5	330,0	33,0
8	200	320,0	80,0
10	60,0	320,0	33,0
14	28,0	83,3	32,0
20	27,5	15,0	31,0
25	27,5	15,0	30,0
30	27,5	15,0	18,5
35	50,0	15,0	3,7
40	18,0	15,0	3,7
45	12,5	15,0	3,7
50	12,5	15,0	3,7
Время, мин.	60,0	60,0	60,0

Спектральная плотность отражает амплитуду нагрузки и вероятность её реализации в заданный период времени.

2.4.2.4. Испытания на ударные нагрузки

Ударные нагрузки возникают при скоротечных (менее 0,1 сек) изменениях деформации изделия, вызывающих внутреннюю ударную волну. Подобные процессы происходят при срабатывании пиросредств или при механическом разрыве связей, а также при упругом торможении быстродвигающихся деталей в механизмах. При этом возникает ударная волна с перегрузкой до 5000 g, затухающая в зависимости от демпфирующих свойств конструкции. Наиболее чувствительны к ударным нагрузкам электронные бортовые приборы.

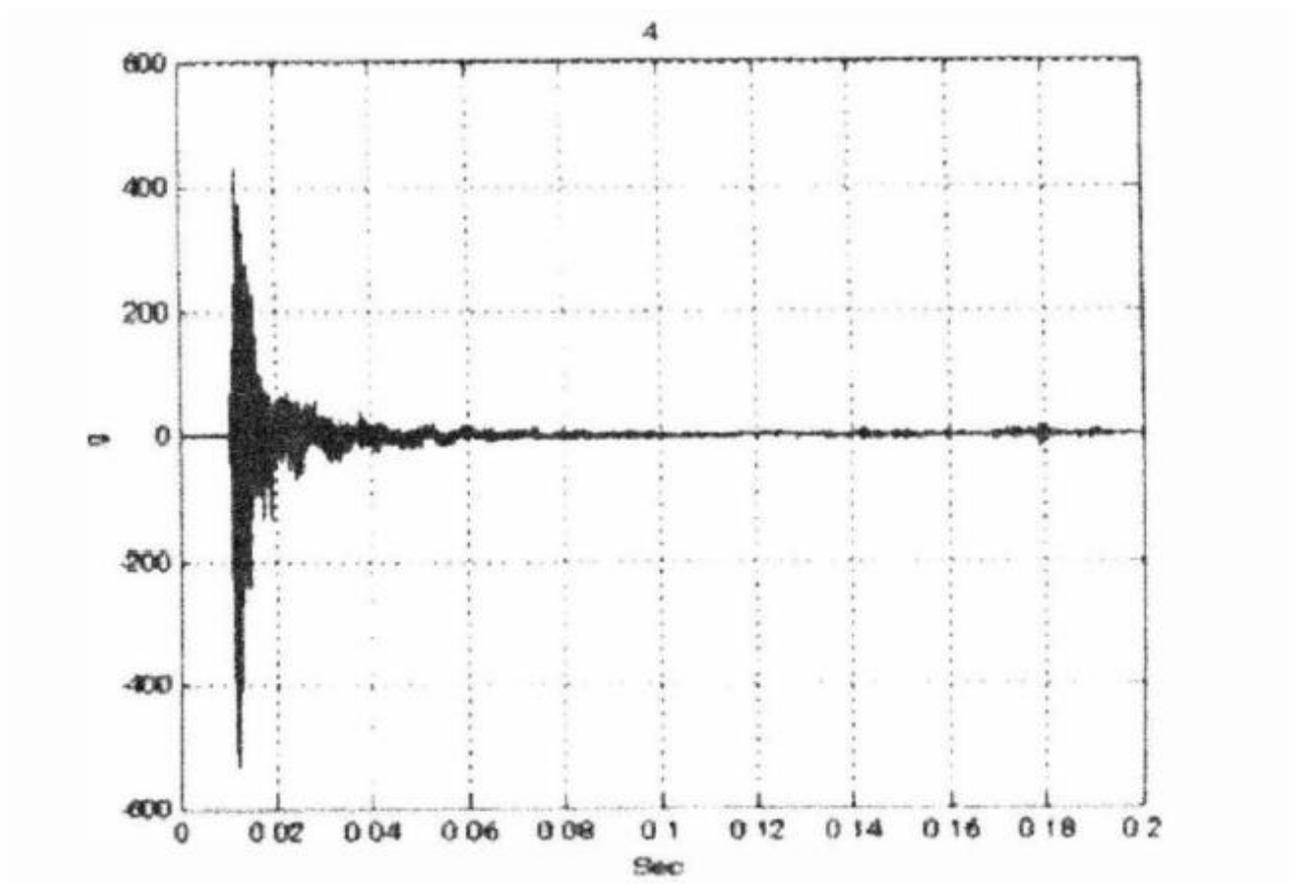


Рисунок 2.4 – Типовая картина ударных нагрузок

Испытания на ударные нагрузки обычно проводят путём срабатывания источников ударной нагрузки, например пиропатронов. При необходимости могут проводиться виброиспытания с применением случайных вибраций с частотами до 5000 g.

2.4.2.5. Акустические испытания

Акустическими нагрузками называют пульсации давлений газа в звуковом диапазоне частот. Источником акустики являются любые работающие механизмы и агрегаты, вибрирующие или выбрасывающие сжатый газ. Для РКТ основным источником акустики является работающий реактивный двигатель на атмосферном участке полёта. При действии акустики на большие поверхности могут возникать нагрузки, приводящие к разрушению. Испытания на воздействие акустики проводятся в специальных акустических камерах. Акустические нагрузки возбуждаются специальными генераторами, использующими прокачку воздуха под давлением (типа свистка). Для моделирования акустических воздействий от работы ракетных двигателей при старте изделие должно при испытаниях точно повторять конфигурацию в составе РКН на старте. Нормы нагрузок определяются в зависимости от типа двигателя и конфигурации РН и стартового сооружения (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Акустическое давление под головным обтекателем в зоне установки КА

Центральная частота 1/3-октавного диапазона, Гц	Среднеквадратические значения акустического давления в 1/3-октавных частотных диапазонах, дБ
25,0	117,0
31,5	123,0
40,0	127,0
50,0	126,5
63,0	127,8
80,0	131,6
100,0	132,4
125,0	131,3
160,0	132,1

Продолжение таблицы 2.3

Центральная частота 1/3-октавного диапазона, Гц	Среднеквадратические значения акустического давления в 1/3-октавных частотных диапазонах, дБ
200,0	132,1
250,0	132,1
315,0	129,9
400,0	129,0
500,0	127,0
630,0	124,0
800,0	121,0
1000,0	119,0
1250,0	117,0
1600,0	114,5
2000,0	112,5
2500,0	111,0
3150,0	109,0
4000,0	108,0
5000,0	107,0
6300,0	105,5
8000,0	104,0
10000,0	103,5
Среднеквадратический уровень акустического давления (OSPL), дБ	141,5

2.5. Испытания на воздействие тепловых и аэродинамических нагрузок

Высокотемпературные нагрузки, действующие на ЛА в полёте, являются результатом аэродинамического нагрева конструкции (общий нагрев) или работы силовой установки и различных систем (местный нагрев). В общем

случае к обшивке летательного аппарата подводится конвективный поток тепла от пограничного слоя, а от нагретой обшивки в окружающее пространство уходит лучистый поток тепла. Внутрь обшивки за счёт теплопроводности проходит кондуктивный поток тепла. По законам термодинамики в каждой точке обшивки должно иметь место равенство нулю суммы этих трёх потоков.

При проведении испытаний конвективный нагрев осуществляется за счёт обдува испытуемого объекта нагретым воздухом. Лучистый нагрев моделируется с помощью излучателей различного типа. Кондуктивный нагрев осуществляется обычно за счёт применения различных поверхностных нагревателей.

Кроме этих основных видов нагрева могут быть использованы различного рода комбинации из вышеперечисленных способов нагрева.

2.5.1. Радиационные установки местного нагрева

При радиационном нагреве источник тепла (излучатель), нагретый до высоких температур, передаёт тепло объекту испытаний путём излучения. При этом окружающая среда (воздух) непосредственно не участвует в переносе тепла и нагревается до невысоких температур от конвекционных потерь объекта нагрева.

В качестве источников радиационной энергии используют специальные кварцевые лампы, силитовые стержни, а также пластины и трубы из жаростойких материалов. Радиационный нагрев даёт возможность излучать высокие скорости нагрева вплоть до 1000 градусов в минуту и тем самым имитировать весьма быстрые нагревы, имеющие место на ЛА. Тепловой поток при излучении зависит от абсолютной температуры тела.

Радиационные установки просты по конструкции и удобны в эксплуатации. Можно получить различные температуры нагрева в различных участках испытуемой конструкции, т. е. получить требуемое температурное поле. Эти установки имеют удобный обзор при проведении испытаний, возможно устанавливать дополнительное оборудование, например обдув струями воздуха или жидкости. К сожалению, установки радиационного нагрева

не обеспечивают равномерного нагрева по площади, и практически невозможно выполнить граничные условия, близкие к полётным, таким образом, чтобы внутренний нагрев летательного аппарата моделировался автоматически.

2.5.2. Кондуктивный нагрев

При кондуктивном нагреве на обшивку испытуемого объекта укладывается поверхностный нагреватель в виде электрического одеяла, изготовленного из электропроводной ткани. Иногда вместо ткани используют металлическую проволоку или пластины. Для уменьшения тепловых потерь нагреватель покрывается слоем теплоизоляции. Такие системы нагрева удобно использовать для испытаний теплоизоляции кабин и отсеков или специальных испытаний систем жизнеобеспечения.

2.5.3. Охлаждающие устройства

Охлаждающие устройства применяются в стендах для изучения поведения функциональных систем летательных аппаратов при воздействии низких температур. При этом применяют следующие способы охлаждения:

- вихревое охлаждение;
- охлаждение с помощью паровых компрессионных холодильных машин;
- охлаждение с помощью воздушных компрессионных холодильных машин;
- термоэлектрический метод охлаждения;
- прочие способы охлаждения.

Вихревое охлаждение - один из наиболее простых, надёжных и удобных способов получения холодного воздуха. Для этого используются вихревые трубки различных конструкций. Сущность этого способа состоит в следующем: если в гладкую цилиндрическую трубу с одного конца подвести сжатый воздух через тангенциальное сопло так, чтобы введённый воздух образовывал внутри трубы вихрь, а прилегающий к соплу конец трубы закрыть диафрагмой с оперением в середине, другой конец трубы снабдить дросселем, то выходящий через диафрагму воздух будет иметь пониженную, а через дроссель - повышенную температуру по сравнению с температурой охлаждающего

воздуха. Искусственно закрученный воздух расслаивается на холодную и горячую составляющие, которые отделяются друг от друга. Необходимо отметить, что КПД вихревой трубки весьма низок, он не превышает величины 0,1 и в 7-8 раз ниже КПД холодильной машины.

Паровые компрессорные холодильные машины - системы охлаждения с применением хладагентов (типа аммиака или фреона) для отбора тепла от окружающей среды.

Основные элементы таких установок:

— испаритель служит для кипения хладагента при низкой температуре и соответствующем ей давлении за счёт теплоты, отводимой от охлаждаемой среды;

— компрессор предназначен для отсасывания паров из испарителя и сжатия их при затрате механической энергии и соответствующем повышении температуры и давлении паров;

— конденсатор предназначен для сжижения паров и отвода от них теплоты конденсации, осуществляемого при температуре паров более высокой, чем температура охлаждающей воды или воздуха;

— регулирующий (дрессельный) вентиль служит для дросселирования в нём жидкого хладагента с соответствующим понижением его давления и температуры.

Такие установки наиболее совершенны, малошумны и экономичны, что и определяет их широкое применение.

Воздушные компрессорные холодильные машины: сжатый воздух, полученный с затратой механической энергии, может служить источником холода при расширении, если при этом выполняется внешняя работа. С уменьшением количества внутренней энергии воздуха вместе с падением давления понижается и его температура. На этом адиабатном (без подвода и отвода тепла) процессе и основана работа турбохолодильных установок по т. н. воздушному циклу охлаждения.

Конструктивно турбохолодильные установки выполняются в виде одного блока, в котором размещены турбохолодильник - турбина и элемент загрузки (работа, получаемая на турбине, должна быть передана либо компрессору, либо генератору), регулирующая аппаратура, теплообменные агрегаты. Такие системы охлаждения получили широкое распространение на самолётах и других транспортных средствах, на которых применяются реактивные двигатели. Они используются также для наземных испытаний с охлаждением.

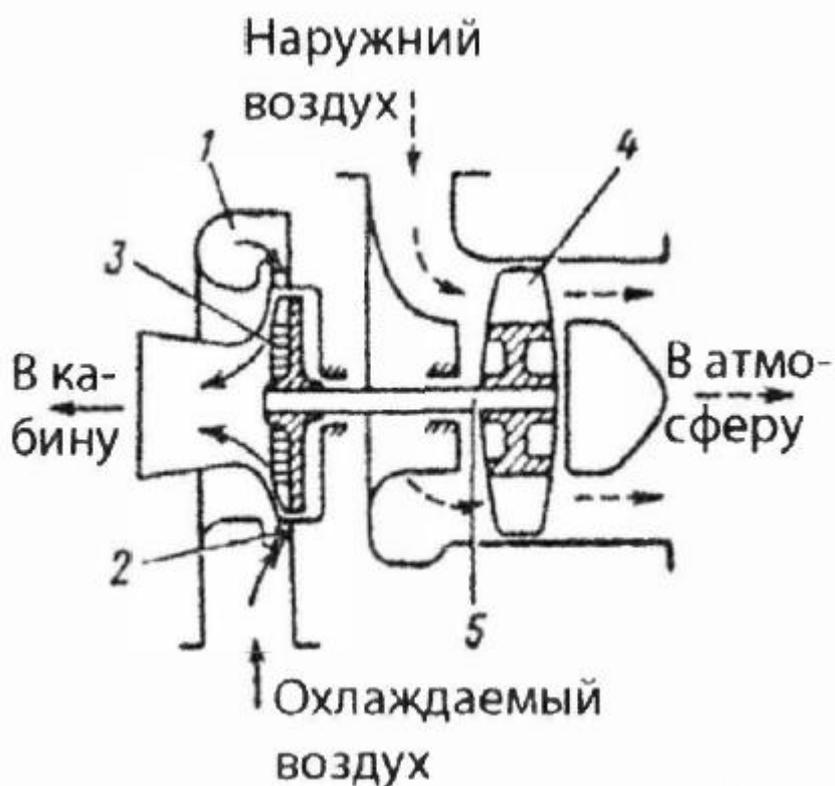


Рисунок 2.5 – Схема турбохолодильника с радиальной турбиной: 1 - коллектор; 2 - сопловый аппарат; 3 - колесо турбины; 4 - вентилятор; 5 – вал

В настоящее время серийно выпускаются турбохолодильные машины типа МТХМ, которые предназначены для проведения теплофизических и гидравлических испытаний, а также для проведения гидравлических испытаний на холодном и горячем топливе. Холодопроизводительность этих машин регулируется воздухонагревателями. Так как такие машины производят одновременно и холодный, и горячий воздух, то, как правило, одновременно проводят работы в режиме нагрева и охлаждения. При охлаждении влажного

воздуха на турбохолодильных установках возможно выделение большого количества свободной влаги в виде жидкой, а часто и твёрдой фазе (снег, лёд). Турбохолодильные установки стараются регулировать так, чтобы температура выходящего воздуха не была ниже 0 °С.

Воздушно-компрессорные холодильные машины менее экономичны, чем паровые, и трудно регулируются, но используются в стендах довольно широко из-за их простоты.

Термоэлектрические установки: данный метод получил развитие лишь в 50-60-х годах в связи с развитием теории полупроводников. Он основан на использовании эффекта Пельтье. Сущность его состоит в том, что при пропускании постоянного тока через цепь, составленную из двух разнородных металлов или полупроводников, на одном выделяется тепло, а на другом оно поглощается. При использовании этого метода электроэнергия непосредственно создаёт тепловой поток от нижнего температурного уровня к верхнему без применения какого-либо движущегося газообразного или жидкого рабочего тела, поэтому термоэлектрические охладители не нуждаются в обслуживании и ремонте и могут работать практически неограниченное время.

В металлах эффект Пельтье, как и эффект Зеебека (в термопарах для измерения температур), во много раз слабее, чем в полупроводниках.

Типовой термоэлемент состоит из двух последовательно соединённых полупроводников. При пропускании электрического тока на одном слое выделяется тепло, на другом - поглощается. Если на слое отбирать тепло, то можно достичь определённого перепада температур (до 50 °С).

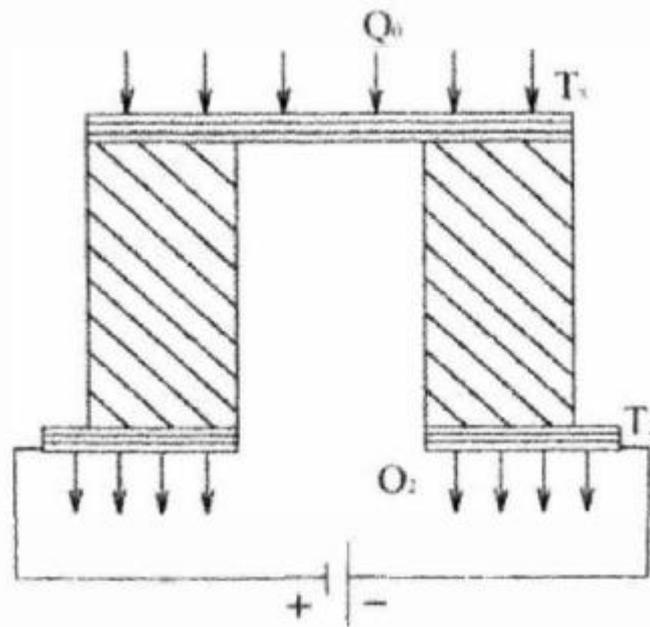


Рисунок 2.6 – Схема термоэлектрической установки

Мощности таких систем невелики, и они применяются в малых масштабах в основном в исследовательских целях. Отметим, что они незаменимы для точного термостатирования при ограниченных возможностях технического обслуживания. Можно ожидать дальнейшего развития этого направления в будущем. Прочие методы охлаждения: в стендовых условиях другие методы охлаждения используются редко.

Но иногда применяются следующие:

- охлаждение холодным воздухом или водой;
- смачивание спиртом или эфиром;
- охлаждение газами в жидком или твёрдом состоянии, например, жидким азотом или твёрдой углекислотой.

2.5.4. Испытания на воздействие аэродинамических нагрузок

Испытания летательного аппарата на воздействие аэродинамического нагрева в сверхзвуковом потоке требуют больших затрат на изготовление и эксплуатацию контрольно-испытательных стендов. Например, для летательного аппарата, имеющего скорость полёта, соответствующую значениям $M=2,35$, $T=423$ К, $H=20$ км, в наземных условиях необходимо создать поток горячего

воздуха с температурой 423 К и скоростью 90 м/с. Очевидно, что такие условия создать технически и энергетически неизмеримо проще, и моделирование в данном случае позволяет получить значительный экономический выигрыш.

Нагрев летательного аппарата при сверхзвуковых скоростях полёта может быть смоделирован на специальных тепловых стендах. При этом необходимо, чтобы в каждой точке поверхности в любой момент времени при испытаниях летательного аппарата на стенде поток газа имел величину температуры восстановления и коэффициенты конвективного теплообмена, совпадающие с соответствующими величинами температуры восстановления и коэффициента конвективного теплообмена в полёте.

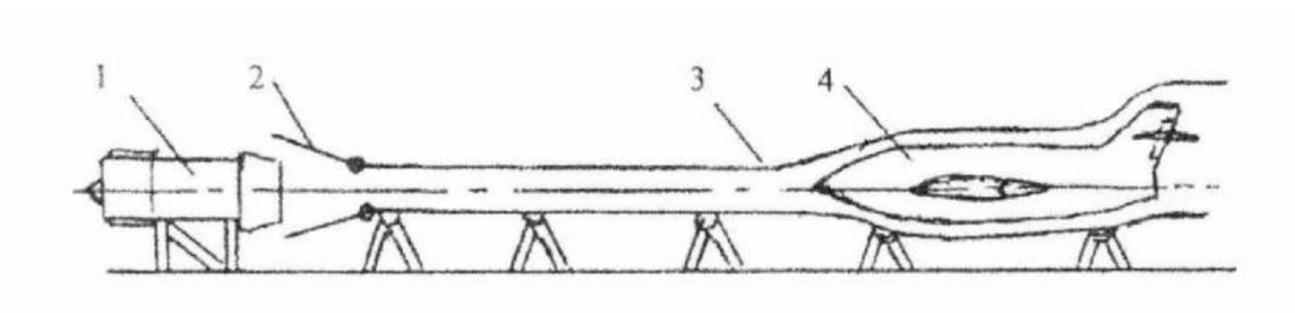


Рисунок 2.7 – Схема стенда с холодным кожухом: 1 - двигатель ТРД; 2 - регулируемые створки; 3 - кожух стенда; 4 - летательный аппарат

Применение этого метода ограничено техническими возможностями подогрева воздуха на стенде до реальной температуры полёта. При испытаниях летательного аппарата со скоростями, соответствующими числам $M > 6$, применение таких стендов затруднено, т.к. возникает необходимость подогревать стендовый поток до $T > 1500$ °С.

Для решения таких задач применяются стенды с горячим кожухом. Тогда полётные величины тепловых потоков к поверхности испытуемого летательного аппарата без их предварительного расчёта автоматически обеспечиваются суммарным воздействием конвективного теплового потока от воздуха, омывающего изделие на стенде, и радиационного (лучистого) потока тепла от горячего кожуха.

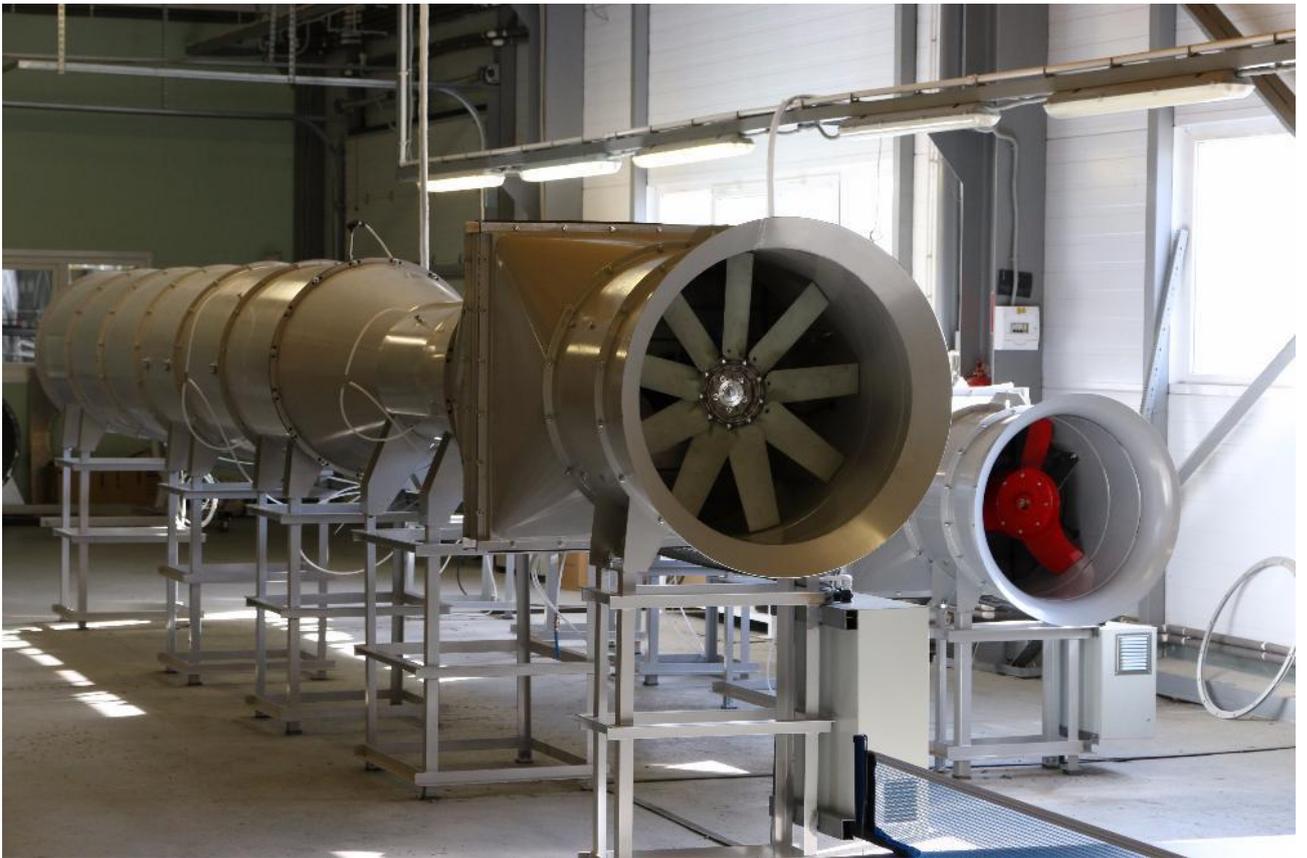


Рисунок 2.8 – Стенды для аэрогазодинамических испытаний

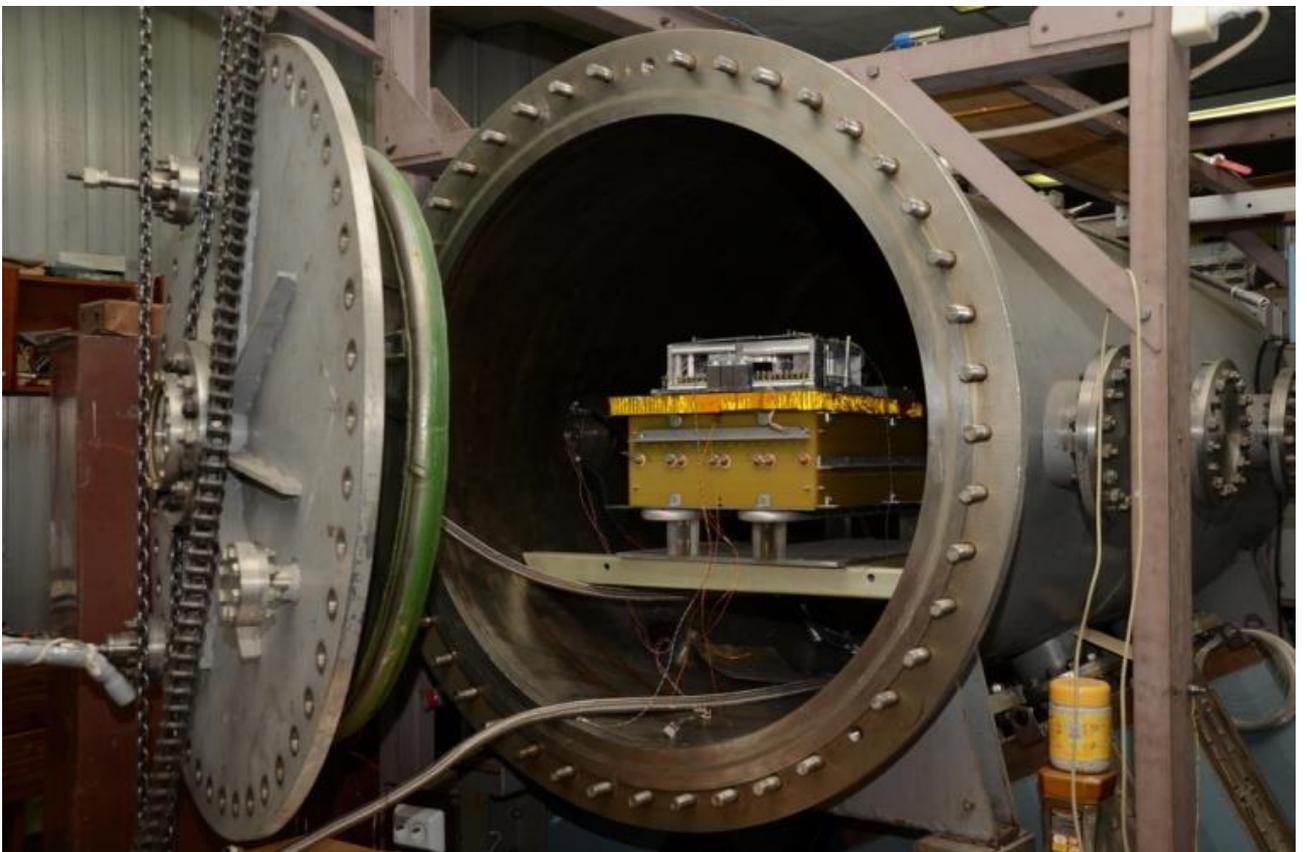


Рисунок 2.9 – Общий вид вакуумноизлучательного стенда

Остальные факторы (корпускулярные и микрометеоритные потоки, ультрафиолетовая радиация и т. д.), оказывающие косвенное влияние на тепловой режим ЛА вследствие изменения оптических и тепловых свойств материалов и покрытий, исследуются отдельно в специальных тепло-вакуумных излучательных установках. В этих же установках, как правило, не очень больших размеров, исследуется сублимация материалов, испытываются движущиеся узлы, изучаются процессы возникновения и разрушения поверхностных молекулярных плёнок и т. п.

2.6. Испытания на сохраняемость изделий при внешних условиях

2.6.1. Климатические испытания

Воздействие климатических условий на изделие происходит при его эксплуатации на открытых площадках и объектах. Длительное воздействие высоких и низких температур, их периодическая смена, а также воздействие влажного воздуха приводит к постепенному изменению физико-механических свойств материалов, а также возможным химическим процессам, таким как коррозия. Целью климатических испытаний является исследование влияния климатических факторов на сохраняемость свойств материалов при изготовлении, транспортировании и хранении изделия. Чаще всего исследуются прочность при растяжении и сжатии, теплопроводность, плотность, химический состав, состояние поверхности, наличие следов коррозии, а для изделия в целом - сохранение работоспособности.

Эксплуатация изделия — это длительный процесс, часто измеряющийся десятками лет, в связи с чем обычно проводят ускоренные климатические испытания (УКИ). Учитывая, что деградация свойств материалов пропорциональна как времени, так и величинам воздействующих факторов, возможно, проводя испытания на предельных условиях, резко сократить время проведения испытаний. Для УКИ могут задаваться предельные условия, превышающие влажность и температуру при реальных условиях. Так, например, повышенные температуры до + 70 °С, пониженные до - 60 °С, термоциклирование +/- 20 °С, влажность до 95%, позволяет сократить время

испытаний с 10 лет до 5 месяцев. Для проведения испытаний используется специальное оборудование - климатические камеры, термошкафы, гидростаты.

2.6.2. Испытания на воздействие вакуума

2.6.2.1. Влияние вакуума на материалы

Воздействие вакуума на материалы в основном связано с сублимацией летучих составляющих материала. В первую очередь это связано с испарением влаги, а также растворителей, входящих в состав полимерных материалов. В целом происходит потеря массы материалов, при этом могут происходить изменения свойств материалов. Для испытаний образцы материалов или изделие целиком помещается в вакуум-камеру и выдерживается заданное время. Для ускорения процесса обычно поднимают температуру до 50-100 °С.

2.6.2.2. Тепловакуумные испытания

Для отработки тепловых режимов КА, эксплуатируемых в вакууме, проводятся термовакуумные испытания. Целью испытаний является отработка пассивных и активных средств терморегулирования. К пассивным средствам относятся оптические покрытия и теплоизоляция, чаще всего многослойная экранно-вакуумная, а также устройства увеличивающие теплопередачу - тепловые трубы. К активным относятся жидкостные управляемые контура и электрические нагреватели.

Для проведения испытаний изделие оснащается габаритнотепловыми макетами бортовых систем. Испытания проводятся в вакуум-камере, оснащённой имитатором Солнца и азотными экранами для имитации температуры космоса. В камере обеспечивают глубину вакуума до 10^{-5} мм рт. Азотные экраны снижают температуру до 90 К, а имитатор Солнца обеспечивает плотность теплового потока 1350 Вт/м^2 . Для отработки различных режимов функционирования обеспечивается возможность поворота изделия внутри вакуум-камеры.



Рисунок 2.10 – Стендовое изделие в термобарокамере для тепловакуумных испытаний

2.6.3. Испытания на воздействия факторов космического пространства (ФКП)

К ФКП для околоземных орбит относятся частицы с большой энергией: протоны и электроны, электромагнитные излучения, различных диапазонов длин волн, например, ультрафиолетовое излучение Солнца, холодная плазма, состоящая из ионов различных веществ, атомы различных веществ, например, атомарный кислород.

Для различных высот орбит с точки зрения сохранения свойств материалов доминирующими являются разные факторы.

Для низких орбит проводятся УКИ на воздействие ультрафиолета Солнца и воздействие атомарного кислорода. При испытании на воздействие атомарного кислорода проводится облучение образцов материалов ускоренной плазмой с флюенсом. Испытания проводятся на специальных установках.

Для высоких орбит проводятся испытания на радиационную стойкость при воздействии электронов и протонов с различными энергиями. В качестве критерия воздействия принимается доза облучения. При этом в качестве критерия сохранения свойств обычно принимается, что снижение физико-механических свойств материала не должно превышать 30%

2.7. Испытания на воздействие рабочих тел (жидкостей и газов)

К испытаниям на воздействие рабочих тел относятся гидродинамические, газодинамические, вентиляционные, огневые и химические испытания. Они связаны с обеспечением статического или динамического воздействия рабочих тел под действием давления и температур на агрегаты или системы.

2.7.1. Физические основы испытаний

2.7.1.1. Испытания пневмо-гидросистем (ПГС)

Для решения одной из важнейших задач газогидродинамики - определения потерь энергии (напора) движущимися в системах жидкостями (газами), необходимо уметь правильно определять гидравлические (аэродинамические) сопротивления. Последнее является особенно важным, так как порой незначительные отклонения от исходной геометрии ПГС, вызванные неточностью изготовления и монтажа заменяемых элементов, изменением их взаимного расположения, могут привести к изменению характера движения жидкости и существенным изменениям основных параметров ПГС.

Коэффициент гидравлических потерь зависит от трения в трубопроводах, шероховатости поверхности, а также от вида течения ламинарного или турбулентного. В зависимости от числа Рейнольдса он может изменяться в очень широких пределах.

2.7.1.2. Местные гидравлические сопротивления

Большое влияние на гидравлические потери оказывают местные гидравлические сопротивления. К ним могут относиться изгибы, дроссельные шайбы, гидравлические агрегаты и т.д.

2.7.1.3. Особенности в поведении жидкости

При проведении испытаний необходимо учитывать случаи, когда в движущейся жидкости происходят явления, отсутствующие в обычных условиях. К таким явлениям можно отнести нестационарность, изменение агрегатного состояния жидкости, проявление свойств, которыми в обычных условиях пренебрегают. Так, например, кавитация, возникающая при сильном понижении давления в движущейся жидкости, приводит к разрывам сплошности, а последующее повышение давления - к возникновению

микрогидроударов, вызывающих кавитационную эрозию материалов гидросистем.

При внезапном торможении жидкости в трубопроводах протекают резко выраженные волновые процессы, связанные с существенным повышением и понижением давления (гидравлический удар).

2.7.1.4. Гидравлический удар в трубопроводах

Гидравлический удар - явление, возникающее в движущейся по трубопроводу жидкости при резком (внезапном) изменении скорости в одном из сечений. Это явление характеризуется возникновением волны повышенного или пониженного давления, которое распространяется от места изменения скорости и вызывает в каждом сечении колебания давления и деформации стенок трубопровода. Так, например, при резком уменьшении скорости движения воды в стальном трубопроводе на каждое уменьшение скорости на 1 м/с давление в трубопроводе возрастает приблизительно на 1-1,2 МПа, т. е. на 10-12 атм. Вследствие этого могут возникать осложнения в нормальной работе трубопровода.

2.7.1.5. Истечение жидкостей

Истечением называют движение жидкости через отверстия или короткие трубопроводы в пространство, заполненное газом или жидкостью. Знание законов истечения необходимо при расчёте топливных форсунок и жиклёров, при определении времени опорожнения ёмкостей, при расчёте элементов гидропневмоавтоматики. Во всех этих задачах главным является определение скорости истечения и расхода жидкости.

На величину скорости и расхода существенное влияние оказывает форма отверстия, и порой небольшое изменение формы отверстия значительно влияет на скорость и расход.

2.7.1.6. Гидравлические насосы

Динамическим насосом называется насос, в котором жидкая среда перемещается под силовым воздействием на неё в камере, постоянно сообщаемой со входом и выходом насоса.

К динамическим насосам относятся:

- 1) лопастные, центробежные и осевые;
- 2) электромагнитные, кондукционные и индукционные;
- 3) трения, вихревые, струйные, шнековые, вибрационные.

Объёмным насосом называется насос, в котором жидкая среда перемещается путём периодического изменения объёма занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса.

К объёмным насосам относятся:

- 1) возвратно-поступательные, поршневые, плунжерные, диафрагменные;
- 2) крыльчатые;
- 3) роторные, роторно-вращательные, роторно-поступательные, роторно-поворотные и др.

2.7.2. Порядок проведения испытаний

2.7.2.1. Испытания по определению гидравлических потерь

Под испытаниями элементов ПГС на гидравлические потери (испытаниями) следует понимать комплекс организационных и технических мероприятий по определению фактических гидравлических характеристик трубопроводов для всей системы.

Основными гидравлическими характеристиками трубопроводов являются:

- гидравлическое сопротивление трубопровода
- эквивалентная шероховатость внутренней поверхности трубопровода.

Определение гидравлических характеристик производится на основании измерений потерь напора при известных значениях расходов рабочего тела по элементам системы и принимаемых по справочным данным значениях коэффициентов местных гидравлических сопротивлений. Определение расходов по элементам производится либо путём непосредственных измерений, либо суммированием расходов рабочего тела на присоединённые в соответствии со схемой гидросистемы. Зачастую гидравлические характеристики определяются в составе стендового изделия, предназначенного для комплексных испытаний

(например, ПГС ДУ). Определение гидравлических характеристик производится на этапе подготовки комплексного испытания.

При проведении испытаний измеряются расходы рабочего тела, давления и температуры. Измерения расходов рабочего тела производятся штатными датчиками (измерительными приборами), установленными в системе, а также расходомерными устройствами, входящими в состав стендовых установок.

2.7.3. Проливочные испытания на стендовых изделиях

В процессе испытаний при проливках стендовых изделия реальными компонентами топлива или рабочими жидкостями проверяется работоспособность ПГС в условиях имитации полётных условий.

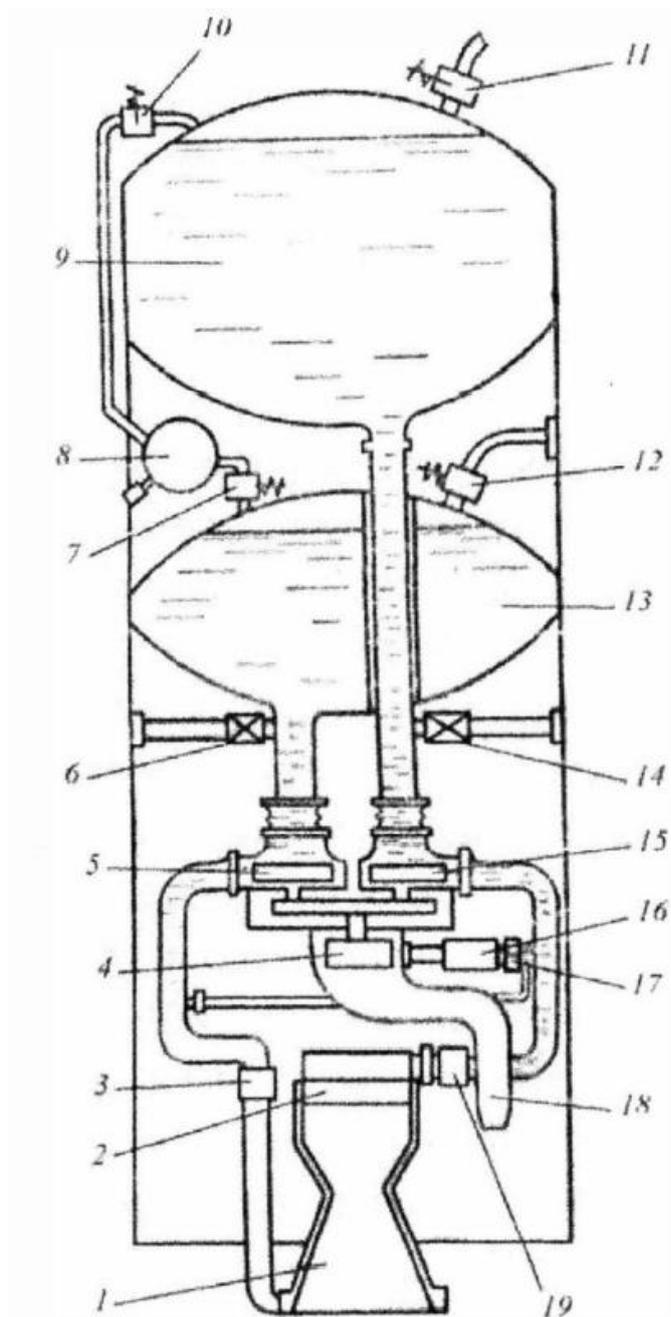


Рисунок 2.11 – Стендовая установка для испытаний ПГС ДУ: 1 - камера сгорания; 2 - форсуночная головка; 3 - клапан горючего камеры сгорания; 4 - турбина; 5 - насос горючего; 6 - заправочный клапан горючего; 7, 10 - регуляторы давления; 8 - сферический баллон с газом; 9 - бак окислителя; 11, 12 - дренажные клапаны баков; 13 - бак горючего; 14 – заправочный клапан окислителя; 15 - насос окислителя; 16 - газогенератор; 17 - клапан газогенератора; 18 - выхлоп ТНА; 19 - клапан окислителя камеры сгорания

2.7.3.1. Испытания ДУ

К задачам этого вида испытаний можно отнести отработку технологии штатной заправки изделия рабочими жидкостями и газами, при этом измеряются фактические показания давления и температуры, а также диапазоны их измерения. Определяется время проведения заправочных операций в реальных условиях, а также временные показатели операций при корректировке заправляемых объёмов и предстартовых операций, например, предпускового наддува.

Для использования криогенных жидкостей необходимо определение изменения давления и температуры компонентов топлива (КТ) в баке при захолаживании, заправке и подпитке, определение параметров процесса захолаживания расходной магистрали и магистралей двигателя жидким компонентом, а также определение массы испарённого рабочего тела (криогенной жидкости) с учётом реального внешнего теплопритока в процессе стоянки бака после окончания подпитки.

2.7.3.2. Комплексные испытания ПГС.

При определении работоспособности системы ПГС решаются задачи определения гидравлических характеристик магистралей и параметров гидроудара при проливках, а также параметры гидравлических агрегатов входящих в систему и их наработка при штатных операциях. При этом определяется достаточность системы контроля, а также чистота внутренних полостей.

В этих испытаниях участвуют системы наддува и дренажа, система демпфирования, контроля заправки и управления расходом рабочих жидкостей и газов.

Важным вопросом является задача исследования величин теплопритоков в изделия с учётом штатной конструкции, внешних условий, а также с учётом фактических параметров системы терморегулирования (СТР).

2.7.3.3. Последовательность проведения технологических операций при подготовке к испытаниям ДУ

Порядок проведения испытаний обычно включает проведение заправки изделия, осмотр состояния изделия после заправки запись параметров измеряемых характеристик, проведение частичных подсливов для исследования поведения характеристик и полный слив по штатной циклограмме, имитирующий работу двигателей.

2.7.4. «Огневые» испытания»

При «огневых» испытаниях производится комплексная проверка и подтверждение работоспособности двигательной установки (ДУ) в стендовых условиях при воспроизведении режимов работы ДУ по циклограмме изделия, имитирующей полёт, и отработка технологических процессов перед запуском ДУ и после её останова.

2.7.4.1. Оценка работы двигателя при «огневых» испытания

К задачам испытаний относится:

- оценка совместной работы двигателя с системами ПГС изделия в условиях, приближённых к штатным;
- подтверждение соответствия параметров двигателя, полученных при проведении «огневых» испытаний изделия, заданным в конструкторской и эксплуатационной документации на двигатель;
- оценка функционирования стендовой системы аварийной защиты (САЗ) двигателя.

В процессе испытаний производится:

- оценка процесса подготовки двигателя к запуску, включая захолаживание двигателя при использовании криогенных компонентов;
- оценка работоспособности средств измерений, достаточности состава штатных параметров и правильности выбора диапазонов их измерений для контроля состояния двигателя.

В процессе подготовки к испытаниям производится оценка достаточности объёма предпусковых проверок и эксплуатационной документации.

2.7.4.2. Оценка работоспособности пневно-гидросистем

При «огневых» испытаниях ПГС ДУ в условиях, приближённых к штатным, производится определение параметров пневмогидравлической системы при работающем двигателе, включая давление на входе в двигатель, а также оценка правильности выбора алгоритмов управления ПГС ДУ.

При испытаниях оцениваются параметры системы управления расходом топлива (СУРТ) при работе двигателя, системы демпфирования, систем наддува и дренажа топливных баков:

- определение изменения параметров систем наддува топливных баков и дренажа при работающем двигателе;
- определение изменения параметров систем наддува топливных баков и дренажа на этапе подготовительных и пусковых работ;
- оценка изменения давления в баках изделия и в шарбаллонах;
- определение числа срабатываний агрегатов систем наддува и дренажа топливных баков при их совместной работе с двигателем.

Оценка гидродинамических характеристик магистралей изделия:

- определение частоты и амплитуды колебаний давления (пульсаций) на входах в бустерный насос окислителя и в бустерный насос горючего двигателя;
- определение колебаний давления (пульсаций) в расходных магистралях и магистрали циркуляции.

При этом определяется достаточность состава штатных параметров и выбора диапазонов их измерения для контроля состояния ПГС изделия; определяется температура компонентов топлива в баках штатными и стендовыми средствами измерений; определяется наработка агрегатов ПГС ДУ на всех этапах работы с изделием. Кроме этого, в процессе испытаний производится замер вибронагрузок и акустических нагрузок, действующих на агрегаты, размещённые в двигательном отсеке, при работе двигателя.

Это дает возможность определить вибропрочность оборудования и ПГС при работе двигателя. Для оценки работоспособности совместной работы приводов качания совместно с двигателем используется амплитудная фазовая частотная характеристика (АФЧХ) рулевых трактов камеры жидкостного

ракетного двигателя (ЖРД) и аэродинамических рулей при «огневых» испытаниях. Учитывая, что при огневых испытаниях реализуется реальная картина теплового нагружения конструкции, производится оценка состояния тепловой защиты двигателя и хвостового отсека (ХО) изделия.

При проведении комплексных «огневых» испытаний обычно проводится экспериментальное подтверждение расчётных параметров системы термостатирования (СТ), которая представляет собой пневмосистему низкого давления для продувок (вентиляции) отсеков, сопрягаемых с баками хранения рабочих жидкостей, в частности, жидкого кислорода.

При этом оценивается эффективность термостатирования незаправленного и заправленного компонента топлива (КТ) изделия при «огневых» стендовых испытаниях (ОСИ) и подтверждаются проектные параметры СТ в части обеспечения теплового режима отсеков изделия в процессе заправки, стоянки, «огневого» испытания и выпаривания окислителя. Учитывая возможные утечки паров компонента из баков, производится контроль концентрации кислорода и проверка возможности контроля паров горючего в «сухих» отсеках в ходе «огневого» испытания.

При испытаниях обеспечивается получение данных по теплоинерционным характеристикам отсеков (времени выхода теплового режима отсеков на стационарный режим, времени переходных процессов после изменения режимов термостатирования). Определяются градиенты температур воздуха в пограничном слое снаружи у стенки нижней части заправленного бака «О», в зоне межбакового отсека и по высоте изделия (бортовыми и стендовыми средствами измерения)

2.8. Электрические испытания

Электрическим испытаниям подвергаются электроагрегаты, преобразующие электрическую энергию в механическую, и датчики, использующие обратное преобразование, а также первичные источники электроэнергии, преобразователи электроэнергии, приборы систем управления и

измерения, устройства приёма и передачи электромагнитной энергии, а также кабели, электропровода и электросоединители.

Приборы, включающие в свой состав вычислительные устройства, для работы которых необходимо программно-математическое обеспечение (ПМО), требуют проведения отдельного объёма испытаний ПМО на специальных стендах.

2.8.1. Испытания электрических цепей

Электрические испытания включают в себя испытания по проверке безопасности электрических цепей и измерения их электрических характеристик. Испытания по безопасности направлены на исключение повреждения изделия или персонала при подаче напряжения на испытуемое изделие и включают проверку качеств изоляции электрических цепей, разобщённость их между собой и с корпусом изделия. С этой целью производятся измерения сопротивления изоляции каждой имеющейся в приборе электрической цепи. Обычно принимается уровень сопротивления изоляции 10^6 Ом. Для измерения электрических характеристик используются электроизмерительные приборы.

2.8.2. Измерение электрических характеристик

Для контроля режима работы электрических установок, их испытания и учёта расходуемой электрической энергии служат электроизмерительные приборы. В зависимости от назначения электроизмерительные приборы подразделяют на амперметры (измерители тока), вольтметры (измерители напряжения), ваттметры (измерители мощности), омметры (измерители сопротивления), частотомеры (измерители частоты переменного тока), счётчики электрической энергии и др. В зависимости от способа отсчёта электроизмерительные приборы разделяют на приборы непосредственной оценки и приборы сравнения.

Действие электроизмерительных приборов непосредственной оценки основано на различных проявлениях электрического тока (магнитном, тепловом,

электродинамическом и пр.), используя которые можно при помощи различных измерительных механизмов вызвать фиксацию результата.

В электроизмерительных приборах сравнения измерения осуществляются путём сравнения измеряемой величины с какой-либо образцовой мерой или эталоном. К ним относятся различные мосты для измерения сопротивления и компенсационные измерительные устройства (потенциометры).

В зависимости от принципа действия, положенного в основу устройства измерительного механизма, электроизмерительные приборы относятся к различным системам: магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, тепловой, индукционной и др. Приборы каждой из этих систем имеют свои условные обозначения. Каждый электроизмерительный прибор имеет некоторую погрешность, которая определяется трением в его осях, технологическими допусками отдельных его деталей, гистерезисом в магнитной системе и т.д.

2.8.3. Виды электрических проверок систем, входящих в ЛА

Для обеспечения вопросов безопасности проводятся защитные операции (ЗО), которые заключаются в частичной проверке правильности стыковки электросоединителей (прозвонке цепей контроля стыковки); проверке разобщённости электроцепей между собой и с корпусом (норма сопротивления изоляции), контроле исходного состояния релейных элементов «с памятью» в приборах бортовой системы управления (в том числе и ступеней предохранения) и приведении их в исходное (при необходимости) состояние; проверке подключения пиросредств (методом их обтекания безопасным током) и их разобщённости между собой и с корпусом. Вместо отсутствующих пиросредств обычно подключаются заглушки, имитирующие нити инициатора пиросредств.

Проверочные включения (ПВ) заключаются в проверке исправности каждого канала резервирования функциональных трактов (ФТ); правильности стыковки электросоединителей; правильности функционирования и сопряжения с элементами, агрегатами и бортовыми системами, которыми данный функциональный тракт управляет. Анализ результатов проверочных включений

проводится по информации, получаемой на наземной системе управления, и при необходимости, телеметрической информации.

Комплексные испытания (КИ) заключаются в проверке функционирования бортовой аппаратуры системы управления (БАСУ) и её взаимодействия со смежными бортовыми системами в режиме имитации предстартовой подготовки и полёта. КИ проводятся без контроля резервирования. Анализ результатов КИ проводится по информации, получаемой наземной аппаратурой системы управления (НАСУ), и по данным телеметрической информации.

Важным вопросом является проверка правильности реакции исполнительного органа, входящего в систему, которая проводится по программе проверки полярности.

Важным этапом электрических испытаний являются совместные проверки со смежными системами, которые заключаются в поканальной проверке взаимодействия с аппаратурой смежных систем изделия.

В заключение электрических проверок проводится контрольный набор стартовой готовности (КНСГ), который заключается в проверке функционирования (без контроля резервирования) бортовой и наземной аппаратуры систем изделия, а также их взаимодействия со смежными системами при выполнении циклограммы предстартовой подготовки

2.8.4. Испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС)

На изделиях РКТ устанавливается радиоэлектронное оборудование, электронное оборудование и электрооборудование, на работу каждого из которых влияют помехи, источником которых является электромагнитного излучение. В процессе изготовления бортовые системы должны быть защищены от действия мощных излучений промышленного оборудования. При подготовке на полигоне должна быть обеспечена защита от окружающей группировки радиоэлектронных средств. Величины помех строго регламентированы, и в общем случае квазипиковые значения напряжённости электрического поля не должны превышать $140 \text{ Дб} \cdot \mu\text{кВ/м}$ при частотах от 1 до 3000 МГц. Требования

по помехоустойчивости определяются для радиоприёмников, радиопередатчиков и антенно-фидерных устройств.

Испытание бортовых систем проводятся в безэховых камерах. Изделие облучается заданными уровнями электромагнитных полей, либо включаются бортовые передатчики. При этом производятся замеры входных сигналов и наведённые помехи.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Для правильной организации проведения испытаний существует строгий порядок проведения работ, каждый шаг которого регламентируется нормативными документами.

При усложнении проектируемого изделия роль испытаний постоянно возрастает, при этом стоимость испытаний и длительность их проведения постоянно возрастает в общих затратах. Для минимизации затрат важнейшим вопросом становится оптимизация экспериментальной отработки проектируемого изделия и его составных частей. Решение этой задачи в первую очередь связано с рациональным планированием испытаний.

Планирование является неотъемлемым важнейшим этапом выполнения любых работ, предшествует любым другим действиям и заключается в определении программы действий в трудозатратах и времени. Это позволяет оптимальным образом распределить необходимые ресурсы - материальные, финансовые и человеческие.

Для определения оптимальности планирования необходимо иметь показатели эффективности функционирования системы и модель системы. При планировании сложных систем необходимо создать математическую модель. Таким образом, уже на этапе планирования необходимо обосновать критерии эффективности и построить математическую модель системы и её испытаний. Модель испытываемого объекта используется для определения видов, последовательности и объёмов испытаний, выбора измеряемых и контролируемых параметров. При планировании решаются вопросы выбора методов сбора и обработки информации, определения форм отчётности и порядка принятия решений по результатам испытаний.

Поскольку изделия РКТ являются сложными техническими системами, отработка их связана с проведением большого количества разных по сложности взаимосвязанных испытаний, планирование должно быть комплексным,

охватывающим весь объём жизненного цикла. Использование такого подхода позволяет определить этапность работ, критерии завершения испытаний и перехода к следующему этапу.

Число факторов при контрольных испытаниях может быть очень большим, что требует проведения длительных испытаний и необходимого для этого оборудования. Идея многофакторного эксперимента или испытаний при варьировании одновременно многими факторами положила основу теории планирования эксперимента. Многофакторный эксперимент давал существенный выигрыш по срокам и затратам.

Планирование эксперимента имеет своей целью разработку процедуры выбора состава и условий проведения эксперимента, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Объект испытаний рассматривается как имеющий неизвестные свойства, которые предстоит определить. Воздействия представляются в виде набора факторов, имеющих несколько уровней реализации, которые образуют факторное пространство, называемое областью определения факторов.

Техническая диагностика включает в себя методы определения технического состояния объекта, оптимальные алгоритмы контроля и принципы построения оборудования, используемого для контроля. В условиях наземно-стендовых испытаний в основном применяются метрические методы распознавания.

3.1. Программа обеспечения надёжности (ПОН)

ПОН является основополагающим документом по вопросам надёжности и безопасности. В этом документе определяется комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, методов, средств, правил, требований и норм, направленных на выполнение заданных в ТЗ требований по надёжности.

ПОН выпускается в соответствии с ГОСТ РВ 27.1.02-2005 «Программа обеспечения надёжности.

Общие требования» и должна содержать:

- общие положения;
- перечень мероприятий по обеспечению надёжности;
- порядок контроля выполнения и корректировки ПОН.

3.1.1. Документооборот при испытаниях

В общих положениях определяется основание для разработки программы, как правило, это ТЗ на разработку изделия (системы), перечень нормативно-технических документов и организационно методических документов (стандартов, методик, руководств, инструкций и т.п.), используемых при выполнении мероприятий ПОН. На основании структуры комплекса определяется перечень ПОН составных частей, разрабатываемых на других предприятиях, ответственных за их разработку.

3.1.2. Мероприятия по обеспечению надёжности

Таблица 3.1 – Перечень мероприятий по обеспечению надёжности оформляется в виде таблицы

Виды работ, этапы видов работ	Мероприятия по обеспечению надёжности	Срок исполнения	Отв. исполнитель, исполнители	Нормативно технич. и организационно методич. документы	Отчётные документы

Мероприятия по обеспечению надёжности разрабатываются на всех этапах опытно-конструкторских работ (ОКР):

- эскизного проекта;
- разработки рабочей документации на опытные изделия и макеты;
- изготовления макетов и опытных изделий, автономных испытаний и корректировке рабочей документации;
- изготовления опытных изделий, комплексных испытаний и корректировке рабочей документации;
- лётных испытаний.

Мероприятия для каждого этапа должны учитывать специфику изделия и порядок разработки.

3.1.3. Этап эскизного проектирования (ЭП)

На этапе эскизного проектирования (ЭП) должен проводиться анализ информации о достигнутом уровне надёжности отечественных и зарубежных аналогов с учётом режимов работы и условий эксплуатации, что необходимо для правильного проведения нормирования надёжности изделия в целом и его составных частей. Разрабатывается структурная схема надёжности для решения задач нормирования и оценки надёжности. На основе структурных схем надёжности (ССН) для различных этапов эксплуатации изделия (при подготовке на техническом комплексе (ТК) и стартовом комплексе (СК), пуске и полёте) определяются показатели безотказности систем изделия, задействованные на каждом этапе эксплуатации, а также распределение требований к надёжности изделия между составными частями изделия. На основе разработанных ССН изделия и показателей надёжности изделий-аналогов определяются показатели надёжности его составных частей для каждого этапа эксплуатации.

С учётом нормированных значений показателей надёжности составных частей изделия формируются разделы ТЗ на разработку составной части изделия с формированием понятия отказа, приведением показателей надёжности, методов их обеспечения и подтверждения на этапах разработки.

Определяются требования к обеспечению надёжности систем изделия на основе выбора схемных и конструктивных решений, обеспечивающих выполнение заданных требований к надёжности изделия. На основании анализа и уточнения критериев отказа и предельных состояний, а также анализа информации о надёжности изделий-аналогов по данным эксплуатации определяется необходимость введения различных видов резервирования (дублирование, троирование, мажоритарная схема выбора достоверных параметров). Проводится предварительный расчёт надёжности изделия, оценка возможности выполнения требований ТТЗ (ТЗ) на основе принятого схемного и конструктивного построения изделия.

3.1.4. Этап разработки конструкторской документации

На этапе разработки конструкторской документации проводится составление перечней возможных видов отказов изделия, выявление составных частей, лимитирующих надёжность изделия (критичные элементы). На основе анализа видов возможных отказов, критичности их последствий на функционирование системы и изделия в целом определяются критичные элементы, тяжесть отказа которых в пределах данного анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер (конструктивного, технологического или эксплуатационного характера) по снижению вероятности данного отказа или возможного ущерба, связанного с его возникновением.

Производится анализ нештатных ситуаций, выявляются элементы и связи, отказ которых приводит к авариям. По результатам этой работы разрабатываются мероприятия по парированию или выходу из нештатных ситуаций с требуемым уровнем работоспособности.

Планирование экспериментальной отработки

Важным вопросом является планирование экспериментальной отработки изделий с учётом заданного уровня надёжности; определение последовательности проведения испытаний, а также объёма автономных испытаний агрегатов и систем, комплексных испытаний систем, межведомственных испытаний.

Объём экспериментальной отработки должен обеспечивать:

- всестороннюю наземную отработку на всех режимах эксплуатации и при крайних значениях внешних воздействующих факторов, а также определение границ их работоспособности;
- проведение ресурсных испытаний, как правило, до наступления предельного состояния;
- безусловное подтверждение количественных и качественных требований по надёжности при наземной отработке элементов и систем;
- сбор и обработку информации о результатах испытаний.

В результате этих работ формируется программа комплексной экспериментальной отработки систем и изделия в целом (КПЭО). Эта программа является основой для изготовления экспериментальных изделий и проведения всего комплекса испытаний на всех этапах.

На этапе экспериментальной отработки в процессе проведения испытаний производится анализ полученных отказов и замечаний, выявляются «слабые» элементы, проводится анализ системных влияний на изделия отказов отдельных элементов; определяется порядок учёта полученных результатов и разработки мероприятий по их парированию и порядку доработки конструкторской документации.

3.1.5. Реализация мероприятий по обеспечению надёжности

Выполнение мероприятий ПОН определяется в отчёте, отражающем результаты выполнения конкретного мероприятия.

В состав отчётных документов могут входить следующие части:

- отчёт о результатах анализа надёжности изделий-аналогов;
- разделы эскизного или технического проектов;
- расчёт надёжности изделия (системы);
- документы планирования экспериментальной отработки;
- программы и методики испытаний на надёжность;
- методики оценки надёжности;
- протоколы и акты испытаний;
- отчёты о реализации ПОН.

3.2. Комплексная программа экспериментальной отработки (КПЭО)

КПЭО является организационно-планирующим документом, определяющим номенклатуру и состав объектов испытаний, цели и задачи, порядок проведения испытаний, а также содержит сведения о порядке оценки надёжности по результатам экспериментальной отработки (ЭО), порядке подтверждения требований по безопасности, порядке отработки конструкторской и эксплуатационной документации, порядке контроля и

корректировки КПЭО. По существу, КПЭО является физической моделью ПОНа.

Она позволяет на этапе рабочего проектирования выложить план, по которому происходит подтверждение критериев, изложенных в ПОНе.

КПЭО разрабатывается в соответствии с требованиями нормативной документации и должна содержать следующие разделы:

- общие положения;
- объекты испытаний;
- этапы, порядок и содержание экспериментальной отработки;
- организационно-техническое и метрологическое обеспечение экспериментальной отработки;
- перечень программ и методик испытаний.

К общим положениям относятся указания на документы для разработки КПЭО: ГОСТы, ПОН, ПОБ и ТЗ.

В соответствии с этими документами КПЭО определяет виды, объём и последовательность проведения испытаний, номенклатуру и состав объектов испытаний, цели и задачи испытаний, сведения о порядке оценки надёжности по результатам испытаний, порядке подтверждения требований по безопасности операторов, порядке отработки конструкторской документации (КД) и эксплуатационной документации (ЭД), отчётности по результатам испытаний.

Также здесь приводят перечень КПЭО систем, входящих в состав изделия, для которого разрабатывается КПЭО (для КПЭО изделия комплекса). Например, КПЭО на систему управления (СУ) двигательной установки (ДУ), системы управления расходом топлива (СУРТ), информационной телеметрической системы (ТЛМ).

В КПЭО должен быть определён перечень характеристик комплекса (изделий), определяемых в процессе испытаний с указанием метода их определения (расчётно-экспериментальный, экспериментальный) и проверяемых на соответствие требованиям ТТЗ (ТЗ). При этом

экспериментальный метод подразумевает испытания опытных образцов, макетов и моделей.

Расчётно-экспериментальный метод подразумевает помимо испытаний опытных образцов, макетов и моделей проведение расчётов и теоретических исследований, основывающихся на результатах испытаний.

Для решения поставленных задач необходимо определить перечень и состав изделий, подвергаемых автономным, комплексным и межведомственным испытаниям, а также всех изделий, имеющих в своём составе критичные элементы, определить цели и задачи испытаний, а также число испытываемых объектов.

В КПЭО должны быть сформулированы основные принципы экспериментальной отработки, позволяющие определить дальнейший её порядок.

К ним можно отнести:

- последовательность отработки, когда испытания объектов любого уровня проводятся после завершения отработки их составных частей;
- проверка и подтверждение правильности принятых конструкторских и схемных решений;
- проверка и подтверждение работоспособности агрегатов и систем, а также материалов в их составе в заданных условиях;
- проведение испытаний агрегатов, систем (их фрагментов) на предельно допустимых (экстремальных) режимах функционирования;
- проверка взаимного функционирования систем и составных частей изделия (комплекса);
- подтверждение заданного ресурса работы;
- проверка эффективности разработанных мер по предупреждению и локализации аварийных ситуаций и путей выхода из них;
- рациональная преемственность материальной части (образцов для испытаний и стендового оборудования) за счёт дооснащения по мере перехода

от одного вида испытаний к последующему с целью минимизации стоимости ЭО;

— отработка комплекта конструкторской (в том числе эксплуатационной), технологической и материаловедческой документации.

Таблица 3.2 – Перечень характеристик, определяемых при экспериментальной отработке и летных испытаниях (ЛИ), (пример)

№ п/п	Характеристика	Пункт ТЗ	Метод определения	Обознач. образцов (справочное)
1.	Работоспособность систем ракеты:			
	- двигательная установка;	3.14.1	Экспериментальный	2Б, Д, И
	- система управления;	3.14.2		ПРСИ
	- средства разделения;	3.14.3		Р
	- бортовой измерительный комплекс;	3.14.4		ПРСИ, У
	- бортовые средства системы наземных измерений;	3.14.5		ПРСИ
	- бортовая аппаратура системы контроля заправки	3.14.6		И
	- система управления расходом топлива;	3.14.7		И
	- средства обеспечения пожаровзрывобезопасности и тепловых режимов;	3.14.8		2Б, Д, И
	- электрогидравлический сервопривод.	3.14.9		Б

№ п/п	Характеристика	Пункт ТЗ	Метод определения	Обознач. образцов (справочное)
2.	Прочность	3.13.5	Экспериментальный	А, В,Р
3.	Надежность	3.5	Расчетно-экспериментальный	Б
4.	Ремонтопригодность	3.13.6	Экспериментальный	ЛИ
5.	Транспортабельность	3.8	Экспериментальный (например, в части транспортировки по железной дороге)	ЛИ
6.	Безопасность	3.9, 3.14.2.4	Расчетно-экспериментальный	ПРСИ, И, А, В,Р
7.	Технологичность	3.12	Экспериментальный	ЛИ
8.	Устойчивость и управляемость в полете		Расчетно-экспериментальный, моделирован	ЭВМ, моделирующий комплекс, ЛИ

№ п/п	Характеристика	Пункт ТЗ	Метод определения	Обознач. образцов (справочное)
9.	Готовность	3.2.3 (в части повторной заправки и КТ)	Экспериментальный	ЛИ
		3.2.4 -	Расчетно-	ЛИ
		3.2.6	экспериментальные	
10.	Электромагнитная совместимость	3.3	Расчетно-экспериментальные	ПРСИ
11.	Контролепригодность	3.2.7, 3.2.8	Экспериментальный	ЛИ
12.	Точность	3.2.9	Расчетно-экспериментальный, моделирование	ЭВМ, моделирующий комплекс, ЛИ
13.	Экологичность	3.10	Расчетно-экспериментальный	И, Д
14.	Эргономичность	3.6	Экспериментальный	ЛИ

№ п/п	Характеристика	Пункт ТЗ	Метод определения	Обознач. образцов (справочное)
15.	Эксплуатационные характеристики	3.7	Расчетно-экспериментальны	ЛИ
16.	По назначению и конструкции В том числе по динамическим и аэродинамическим характеристикам пакета и газодинамики старта	3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 (кроме повторной заправки и КТ) 3.2.9, 3.13	Расчетный Расчетно-экспериментальны	Модели (таблица За, п.п. 1-4,9-12, 29)
17.	а) стойкость б) живучесть	3.4.1, 3.4.3. 3.4.2, 3.4.4.	Расчетный Экспериментальный	Б
18.	Стандартизация и унификация	3.11	Расчетный	-

При этом ЭО агрегатов и систем должна проводиться в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, с максимально возможным одновременным воспроизведением воздействующих факторов.

Для проведения испытаний предусмотрены несколько этапов, к типовым можно отнести следующие этапы испытаний:

— автономные испытания механизмов, узлов, агрегатов и приборов, комплектующих системы изделия (комплекса) - I этап;

— комплексные испытания систем изделия (комплекса) - II этап;

— комплексные испытания изделия в целом (стендовых изделий) - III этап.

I этап - автономные испытания механизмов, узлов, агрегатов и приборов, комплектующих системы изделия (комплекса).

Цель испытаний - проверка соответствия элементов систем изделия (комплекса) требованиям ТЗ.

Задачи испытаний:

— проверка работоспособности элементов систем при воспроизведении условий и режимов эксплуатации;

— оценка надёжности функционирования и безопасности эксплуатации;

— отработка КД с последующей её корректировкой.

II этап - комплексные испытания систем изделия (комплекса).

Цель испытаний - проверка соответствия систем требованиям ТЗ головного разработчика.

Задачи испытаний:

— проверка функционирования систем в условиях, близких к реальным;

— определение границ работоспособности систем;

— корректировка КД;

— отработка технологических процессов изготовления систем.

III этап - испытания образцов изделия (стендовых изделий).

Цель испытаний - совместная отработка систем изделия (комплекса).

Задачи испытаний:

— проверка совместного функционирования систем в условиях, близких к реальным;

— отработка программ и алгоритмов для бортовых и наземных вычислительных машин;

- проверка отработанности технологии изготовления (аттестация рабочих мест исполнителей и технологического оборудования), достаточности и эффективности контроля качества;
- отработка КД (в том числе ЭД) и ТД;
- проверка работоспособности изделий при имитации аварийных ситуаций;
- предварительная оценка соответствия изделия (комплекса) требованиям ТЗ;
- определение технической готовности изделия (комплекса) к лётным испытаниям в составе комплекса в соответствии с программой лётных испытаний.

В рамках КПЭО предусматривается отработка новых технологических процессов, характеристики и режимы которых должны быть экспериментально подтверждены и уточнены.

Программы отработки новых, а также при необходимости критичных технологических процессов должны предусматривать отработку операций, режимов и условий их проведения, в наибольшей степени оказывающих влияние на качество и воспроизводимость параметров критичных элементов конструкции, а также отработку (аттестацию) технологических операций, на которых возможно появление скрытых дефектов в соответствии с требованиями ГОСТ, и должны содержать:

- характеристики и особенности технологического процесса, цели отработки;
- параметры и режимы, подлежащие отработке;
- методы обеспечения и контроля стабильности параметров технологического процесса;
- порядок и последовательность выполнения экспериментальных работ и испытаний;
- методы регистрации и отработки полученных результатов, оценки завершённости отработки;

— сведения о необходимой материальной части (технологических образцах) для отработки технологического процесса (нормативы расхода образцов, поставщики, сроки поставки);

— сведения о необходимой экспериментальной базе (оборудование, оснастка, инструмент, средства измерений, регистрации и обработки результатов экспериментов).

Экспериментальной отработке подлежат также технологические процессы, относящиеся к работам с критичными элементами, в соответствии с документом «Перечень критичных элементов изделия (комплекса)».

В рамках КПЭО также предусматривается экспериментальная отработка ЭД. Целью отработки ЭД изделия (комплекса) и его составных частей является проверка её комплектности, построения и содержания на соответствие требованиям стандартов единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и тактико-технического задания, а также оценка пригодности ЭД для обеспечения эксплуатации изделия (комплекса).

ЭД последовательно отрабатывается в процессе изготовления, автономных и комплексных испытаний экспериментальных изделий.

В КПЭО должен определяться перечень программ и методик испытаний, необходимых для определения путей достижения поставленных задач.

3.3. Общие требования к организации испытаний различных видов

В общем виде организация испытаний представлена ниже.

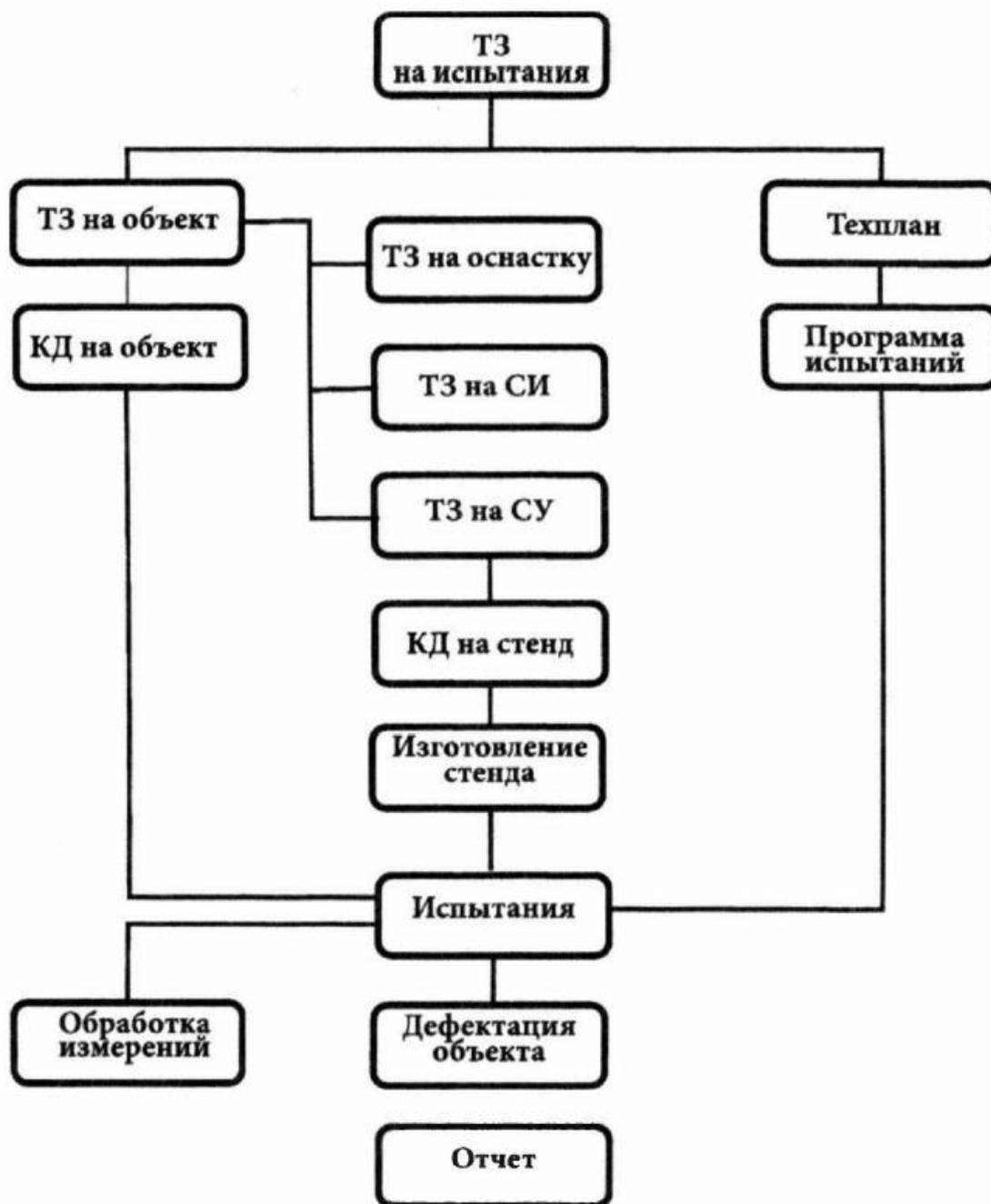


Рисунок 3.1 – Документооборот при наземно-стендовой отработке

Комплексность подходов к организации испытаний и высокая ответственность за получение объективных результатов в условиях большого количества ограничений требует глубокой формализации процесса подготовки и проведения испытаний, определяющее необходимость создания большого количества специальных документов.

3.3.1. ТЗ на испытания

ТЗ содержит объём и порядок испытаний и служит исходным документом для всей документации на испытания. В ТЗ определяются цель и задачи испытаний, виды воздействия на объект, схема проведения испытаний, режимы испытаний, количество объектов, перечень измеряемых параметров и отчётная документация.

В ТЗ даётся определение понятия отказа, что весьма важно для определения и выполнения цели испытаний. После проведения испытаний определяется порядок проведения дефектации и классификация возможных дефектов.

3.3.2. ТЗ на разработку объекта испытания

В ТЗ указываются отличия объекта от штатного изделия, состав объекта, требования к системе измерений и системе управления. Обязательным элементом являются указания к стыковке объекта с испытательным оборудованием по механическим, электрическим средовым интерфейсам.

3.3.3. КД на объект испытания

КД на объект испытания выпускается на основании ТЗ и используется производством для изготовления, а также для оценок результатов испытаний. Кроме этого, в КД включаются сменные детали и материалы для проведения повторных испытаний в соответствии с программой.

3.3.4. ТЗ на оснастку или стендовое оборудование

В ТЗ на оснастку включаются требования по назначению испытательного оборудования, виды воздействий на объект, ресурс оснастки, схема размещения объекта. Важным фактором является указание энергообеспечения стендового оборудования, это связано с использованием того или иного испытательного предприятия для данного вида испытаний. В ТЗ могут включаться требования по системе управления и измерения, если не требуется выпуск отдельных документов.

3.3.5. ТЗ на систему измерений

В первую очередь, в ТЗ включается перечень параметров измерений с указанием подробных характеристик и точностей, а также схема их размещения

на объекте испытаний. Качество проводимых измерений во многом определяет результаты испытаний, поэтому в ТЗ должны содержаться требования к методике обработки результатов измерений. Все средства измерений должны пройти метрологическую экспертизу в соответствии с действующими стандартами. Кроме этого, в ТЗ определяется циклограмма и условия проведения испытаний, так как от этого зависит выбор средств измерения и аппаратуры приёма и обработки информации.

3.3.6. ТЗ на систему управления

В ТЗ на систему управления включается перечень объектов управления, включая логику их работы, и алгоритмы управления. Должна быть определена технология управления объектом испытания, циклограмма испытаний и условия их проведения.

Важным вопросом создания СУ является обеспечение её надёжности, учитывая условия и длительность испытаний.

3.3.7. КД на наземное оборудование

КД на наземное оборудование выпускается в соответствии с ТЗ на стендовое оборудование, систему измерений и систему управления.

3.3.8. Технологический план эксперимента

Технологический план является организационным документом, включает перечень основных этапов работы, сроки и порядок их проведения. В техплане обязательно указываются ответственные организации за каждый этап работ, в том числе поставщики оборудования. Для каждого этапа работ должны определяться документы, по которым он выполняется, и оборудование, которое для этого используется.

3.3.9. Программа испытаний

Программа испытаний (ПИ) является одним из важнейших документов, определяющих проведение испытаний. В ней определяется каким образом построено испытательное оборудование и как оно связано с объектом испытаний, как осуществляется подготовка к испытаниям. Технология

проведения испытаний расписана в определённой последовательности с указанием всех условий и методики.

Важным вопросом является безопасность проведения работ. В ПИ указываются все возможные нештатные и аварийные ситуации, определяются их признаки и даются указания, как их парировать.

Приводится описание системы измерений и методика оценки полученных результатов, а также описание системы управления объектом.

Должны быть определены виды отказов и действия в случае их появления. Кроме этого, должна быть определена программа дефектации изделия после завершения испытаний и требования к отчётности.

3.3.10. Отчёт по испытаниям

В отчёте излагаются результаты испытаний данного объекта, и выпуск отчёта является заключительным этапом испытаний. Без выпуска отчёта испытания считаются незавершёнными.

Помимо описательной части условий проведения испытаний и приведения результатов испытаний в отчёте должны содержаться перечень отказов и дефектов, выявленных в процессе испытаний, и мероприятия по их устранению.

В выводах по результатам испытаний делается отметка о выполнении ТЗ на испытания и даётся заключение о достижении цели испытаний.

3.4. Учёт отказов и их парирование

При проведении испытаний устанавливается строгий порядок регистрации полученных отказов и выявленных дефектов, а также разработка и реализация мероприятия по их парированию или устранению. При обнаружении дефекта или отказа испытания останавливаются до принятия соответствующих решений.

После завершения испытаний проводится дефектация объекта испытаний, которая обычно включает внешний осмотр и проведение испытаний по проверке состояния изделий, например, электрических испытаний по проверке целостности цепей и работоспособности оборудования, установленного на объекте, проверка герметичности, неразрушающие испытания по определению свойств испытаний и т.д. Для подготовки к дефектации выпускается специальная

программа, или эти требования включаются в программу испытаний. Обычно дефектация проводится комиссионно с привлечением разработчиков объекта испытаний и заказчиков изделия по специальной программе.

Порядок работы с дефектами

При обнаружении дефекта или появлении отказа для формализации процесса работы с этим событием выпускается специальный документ, аналог паспорта на изделие, который будем называть «сигнальный листок» (СЛ). Этот документ должен сопровождать все работы по дефекту вплоть до его устранения, а далее он является основой для последующих обобщений для оценки всего цикла испытаний при выпуске итогового отчёта.

В СЛ включаются следующие вопросы: описание дефекта, его классификация, причина его появления, мероприятия по устранению дефекта, отметка о проведении доработок.

При анализе полученного дефекта или отказа важным вопросом является его квалификация. Дефекты могут быть конструкторские, требующие изменения или доработок документации на объект испытаний, производственные, вызванные браком производства и требующие замены или ремонта объекта, эксплуатационные, вызванные несоответствием условий испытаний требованиям ТЗ, требующие доработки программы испытаний, методические, требующие доработки ТЗ на испытания. По результатам квалификации отказа формируются мероприятия по его устранению. Испытания на время реализации мероприятий останавливаются, и разрешение на продолжение испытаний может быть дано только после завершения всех работ. Решение о возможности продолжения испытаний отмечается в СЛ.

4. АВТОНОМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

4.1. Схема деления изделия

Изделия РКТ представляют из себя сложные технические системы, построение которых можно представить в виде иерархической схемы. Детали объединяются в узлы, узлы в агрегаты, агрегаты в подсистемы различных уровней, подсистемы в системы, системы в изделия, изделия в комплексы различных уровней. Нижний уровень представляет собой изделия, состоящие только из деталей и при этом, выполняющих определённую функцию. Например, обратный клапан состоит из корпуса, крышки, клапана и пружины, и выполняет функцию пропускания газа или жидкости в одну сторону при перепаде давления, при исчезновении перепада пружина прижимает клапан к седлу и перекрывает проход.

При применении готовых изделий их испытаний обычно не требуется, однако при изменении условий эксплуатации проводятся дополнительные испытания готовых изделий по протоколам применения.

Членение изделия на самостоятельные части определяется несколькими причинами.

Во-первых, технологическими, т. к. организация процесса изготовления требует движения от простого к сложному. Подобное членение делает изделие ремонтпригодным и состоящим из взаимозаменяемых частей.

Во-вторых, надёжность, построение изделия из предварительно отработанных частей с заданной надёжностью позволяет построить надёжное изделие в целом и упрощает наземную отработку сложных изделий. Таким образом, каждый элемент входящий в систему членения изделия, должен пройти автономную отработку и поступить на более высокий уровень как готовое изделие. При дальнейших испытаниях на более высоком уровне он уже не будет являться объектом испытаний.

В-третьих, необходимо распределить объёмы испытаний между уровнями таким образом, чтобы получить требуемый результат с минимальными затратами. Принципиально, что чем ниже уровень, тем больше образцов можно изготовить и испытать, уменьшив объём испытаний более высокого уровня. Но при этом чем ниже уровень, тем больше изделий в него входит.

Таким образом, снижение общих затрат - это задача оптимизации.

В общем виде автономные испытания проводятся на полноразмерном изделии, подвергая его последовательно ряду различным испытаний. В ряде случаев это может достигать нескольких десятков испытаний. Для подтверждения надёжности и отработки технологии изготовления испытаниям подвергается от 3 до 20, а для автономных испытаний двигателя может потребоваться до 100 единиц.

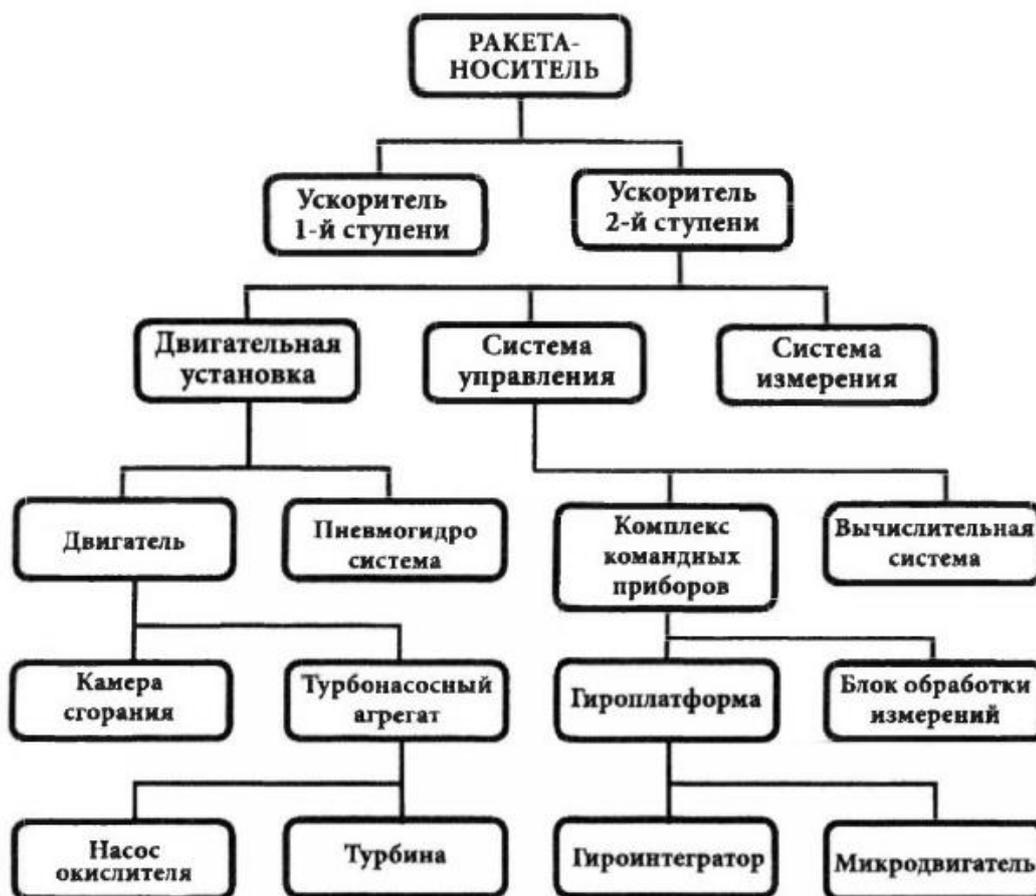


Рисунок 4.1 – Схема деления ракеты-носителя

4.2. Цель автономных испытаний изделий каждого уровня - отработка надёжности

Надёжность - это сохранение работоспособности изделия в течение определённого времени при действии заданных условий эксплуатации. Надёжность - это свойство конструкции, определяемое всей совокупностью свойств применённых в изделии материалов и устройств. Для оценки надёжности применяется несколько показателей надёжности, но основным показателем надёжности является безотказность системы, которая выражается через вероятность безотказной работы - вероятность выполнения задачи при n испытаний, из которых m закончились отказом:

$$P = \frac{n-m}{n} = 1 - \frac{m}{n}. \quad (4.1)$$

Подтверждённая точность оценки вероятности выполнения задачи зависит от количества проведённых испытаний.

Поскольку при получении отказа проводится доработка изделия для предотвращения появления подобного отказа в дальнейшем, в каждом последующем испытании уже участвует другое (доработанное) изделие, поэтому прямая оценка вероятности в общем случае неприменима, так как отбросив после доработок все отказы, мы заведомо получаем тривиальную оценку $P=1,0$, что является ошибкой. В связи с этим в технике получила распространение интервальная оценка надёжности

$$P_{пр} < P_3 < 1,0, \quad (4.2)$$

где $P_{пр} = 1-\gamma$, а γ – принятый коэффициент доверия.

Чем больше будет проведено испытаний, тем точнее будет определена подтверждённая надёжность. При этом надёжность как свойство конструкции останется неизменной до проведения доработок по результатам полученного отказа. Отсюда следует, что повышение надёжности изделия определяется

количеством выявленных отказов. При этом отсутствие отказов может быть связано не с высокой надёжностью конструкции, а с неправильно организованными испытаниями. Например, отсек выдержал испытания при статическом нагружении на сжатие, но при этом условия закрепления отсека на оснастке не соответствовали реальным и повышали его несущую способность, и реальная несущая способность не была выявлена. Подобное не выявление слабых мест при испытаниях может привести к его разрушению при реальной эксплуатации.

Обычно вероятность выявления ошибки неизвестна и лежит в пределах от 0 до 1,0. Если считать отказы единичными и вероятность их возникновения q то при проведении n испытаний возможность отказа исключается с вероятностью

$$P_q = 1 - q(1 - q)^n, \quad (4.3)$$

где $1 - q$ – вероятность одного успешного испытания;

$q(1 - q)^n$ – вероятность появления отказа при n испытаниях.

Таким образом, эффективность выявления отказов зависит от количества испытаний и вероятности проявления отказа. На рисунке показаны данные зависимости минимальной вероятности успешного испытания, которая выражается:

$$P_{q_{\min}} = 1 - nq / (n + 1)(n + 1), \quad (4.4)$$

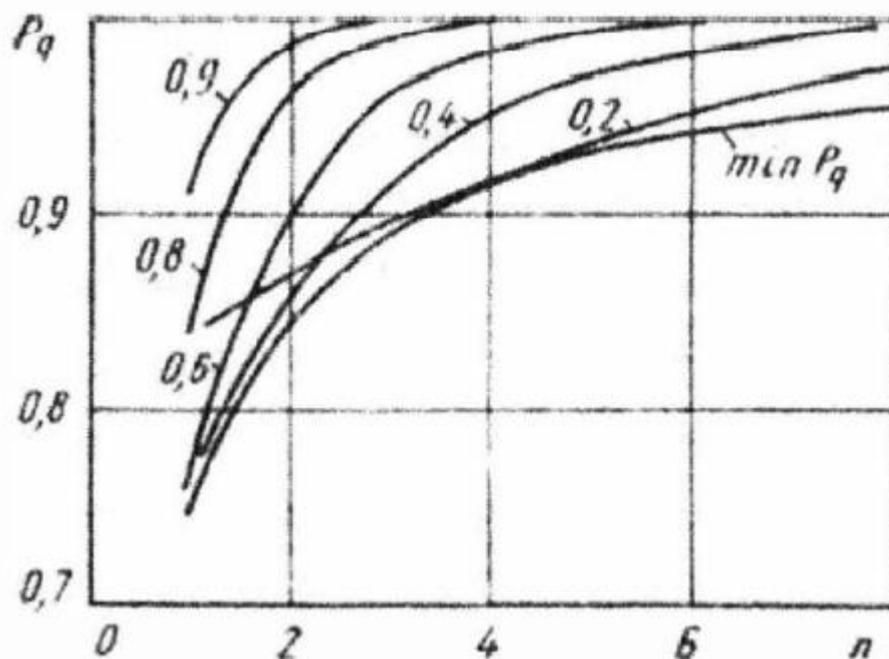


Рисунок 4.2 – Вероятность выявления неисправности P при контрольно-технологических испытаниях в зависимости от количества испытаний n и вероятности проявления неисправности $q = 0,2; 0,4; \dots; 0,9$

При этом вероятность успешного испытания растёт с количеством испытаний, а вероятность появления отказа снижается. Чем выше вероятность проявления отказа, тем раньше он должен проявиться, и при проведении экспериментальной отработки большая часть отказов выявляется на ранней стадии отработки. Для получения минимальной оценки вероятности успешного испытания 0,98 нужно провести 16 успешных испытаний.

4.3. Этапы проведения автономной отработки

При проведении автономной отработки испытания делятся на несколько этапов, связанных с задачами, решаемыми на каждом этапе. Обычно в соответствии с действующими нормативными документами проводится 3 этапа автономных испытаний - доводочный, предварительный, приёмочный/

4.3.1. Доводочный этап испытаний

К задачам этого этапа относится в первую очередь определение правильности принятых конструкторских решений, применения материалов и

технологии изготовления. При решении этой задачи допускается менять конструкцию и проводить необходимые доработки. Следующей задачей является проверка соответствия параметров изделия заданным в КД, а также проверка правильности выбранной методики испытаний. Методика испытаний является важной составляющей создания изделий, так как она определяет достоверность получения результатов и соответствие реальным условиям эксплуатации. В ряде случаев необходимо менять конструкцию только ради того, чтобы обеспечить более достоверные испытания.

На этом этапе для проведения необходимых доработок допускается вносить необходимые изменения КД, а также менять методику проведения испытаний.

4.3.2. Предварительный этап испытаний

После завершения доводочного этапа начинается следующий этап испытаний, основной задачей которого является проверка работоспособности объекта во всём диапазоне режимов нагружения и во всём диапазоне внешних условий. На этом этапе проверяется готовность перехода к приёмочному этапу испытаний. На этом этапе допускается вносить некоторые усовершенствования в конструкцию изделия, но без принципиальных изменений основных конструкторских решений, отработанных на доводочном этапе. Также на этом этапе проводится корректировка технологических процессов изготовления. По результатам предварительного этапа производится корректировка КД.

4.3.3. Приёмочные испытания

При проведении приёмочных испытаний производится проверка выполнения ТЗ в полном объёме.

По результатам приёмочных испытаний делается вывод о возможности перехода к эксплуатации изделия и его серийного производства. Испытания проводятся под контролем заказчика, а в случаях испытаний особо важных изделий - под руководством специально созданной межведомственной комиссией (МВК).

Такие испытания называются межведомственными, и к участию в них привлекаются представители Заказчика и независимые эксперты, обычно относящиеся к разным ведомствам (предприятиям).

По результатам приёмочного этапа выпускается отчёт о завершении отработки изделия, в котором делается вывод о передаче изделия в серийное производство. Производится окончательная корректировка КД, и на неё ставится литера о готовности к серийному производству. С этого момента считается, что разработка документации завершена, и она может выдаваться на серийные заводы для производства.

4.4. Количество образцов

При разработке ТЗ на испытания определяется количество образцов изделия для каждого этапа испытаний. Количество выбирается из условия подтверждения показателей надёжности и проверки всех условий эксплуатации. При определении количества учитывается невозможность проверки всех свойств ТЗ на одном образце. Так, например, проверка функционирования на различных режимах может быть ограничена заданным ресурсом изделия. Учитывая особенности изделия, должна быть разработана специальная методика подтверждения показателей надёжности, которая определит минимальное количество испытаний и образцов.

Обычно используются интервальные оценки показателей надёжности. В соответствии с формулой, заданный показатель надёжности должен соответствовать:

$$(P_3) n = 1 - \gamma, \tag{4.5}$$

где γ – доверительная вероятность.

Если прологорифмировать обе части, то получим:

$$\ln (P_3) n = \ln (1 - \gamma), \tag{4.6}$$

$$n = \ln(1 - \gamma) / \ln(P_3). \quad (4.7)$$

В соответствии с формулой можно определить количество образцов, необходимых для подтверждения заданных показателей надёжности. Так, при заданной надёжности 0,99 и доверительной надёжности 0,8 необходимо 22 образца.

С другой стороны, для получения вероятности успешного испытания 0,99 необходимо провести более 30 успешных испытаний. Таким образом, с учётом того, что большая часть отказов случается на начальном этапе испытаний, обычно принимается для испытаний 15 образцов и от 50 до 100 испытаний.

4.5. Автономная отработка систем, состоящих из электронных приборов

Особенностью систем и подсистем, состоящих из нескольких электронных приборов, является невозможность проведения их полноразмерных автономных испытаний в связи с их неразрывной связью с компоновкой всего изделия и объединением приборов кабельной сетью. В связи с этим их автономные испытания разбиты на несколько этапов. Отработка на воздействие внешних условий проводится на отдельных приборах, а отработка всей системы в целом проводится в сборе на специальном стенде, объединяющем приборы кабельной сетью, но не имитирующем условия их работы в составе изделия.

4.5.1. Автономные испытания

ЛОИ - лабораторные отработочные испытания, которые проводит разработчик самостоятельно, СОИ - совместные отработочные испытания - испытания проходящие с участием заказчика.

1-й этап - ЛОИа и СОИа - автономные испытания отдельных приборов на воздействие внешних факторов и функционирование. При этом проводятся электрические испытания, испытания на воздействие динамических нагрузок, температурных нагрузок, испытания на герметичность, ресурсные испытания, климатические испытания, и так далее. При этом как на всех автономных

испытаниях допускается изменение конструкции и электрических схем приборов, выявление неисправностей и их исправления.

2- й этап - ЛОИк и СОИк - комплексные лабораторные и совместные испытания системы в составе комплексного стенда, основной задачей которых является проведение совместных электрических испытаний, проверка электрического сопряжения отдельных приборов, проверка электромагнитной совместимости, а также отработка нештатных ситуаций.

3- й этап - ЛОИацк и СОИацк - отработка программно-математического обеспечения (ПМО), необходимого для обеспечения функционирования системы. Такие испытания проводятся на специальном моделирующем стенде, где сама система и условия её функционирования существуют в виде математических моделей. Такой стенд называется алгоритметрически-цифровой комплекс (АЦК) и состоит из стандартных счётно-решающих устройств - компьютеров. На нём проверяется правильность функционирования программного обеспечения, отрабатываются специально созданные контрольные примеры, имитирующие работу системы, правильность реализации заданной циклограммы функционирования, проверяются нештатные ситуации и алгоритмы выхода из них.

4.5.2. Предварительные и доводочные испытания

После завершения автономной отработки проводятся предварительные испытания в объёме ТУ Производится отработка технологии контрольных испытаний и проводится ресурсная наработка для подтверждения надёжности. После завершения предварительных испытаний делается заключение о переходе к приёмочному этапу испытаний.

4.5.3. Приёмочные испытания

Приёмочные испытания проводятся также в объёме, заданном в ТУ или по специальной программе. В ряде случаев для сложных систем приёмочный этап не проводится, а совмещается с лётными испытаниями изделия в целом.

5. КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Комплексные испытания проводятся с изделиями и системами, состоящими из готовых, прошедших автономную отработку изделий и узлов. Целью комплексных испытаний является проверка функционирования, работоспособности на различных режимах в определённо заданных условиях. При этом проводится оценка сопряжения составных частей системы между собой, оценка комплексных параметров функционирования, а также соответствие расчётным моделям. Важным вопросом проведения комплексных испытаний является проверка функционирования изделия в нештатных режимах и отработка выхода (парирования) нештатных ситуаций. Так как система или изделия имеют большое количество различных функций и условий, проведение испытания на каждом из них ограничивается общим ресурсом системы. В этой ситуации создаётся несколько моделей системы для отработки отдельных функций. Так, для системы управления создаётся два стенда: один для отработки электрических сопряжений, а другой - для отработки программно-математического обеспечения.

Но особенно это касается проведения комплексных испытаний изделия в целом. В отдельных случаях создаётся до 50 различных моделей изделия. Каждая сборка предназначена для отработки отдельных функций изделий.

5.1. Модель для статических испытаний

5.1.1. Основные задачи

К основным задачам при испытаниях изделия на внешние статические нагрузки является проверка правильности распределения внутренних усилий, получение соответствия внутреннему напряжённому состоянию, измеренному при испытаниях и полученному в результате моделирования.

Кроме этого, решается задача определения наиболее нагружённых мест в изделии и проверка запасов по общей и местной несущей способности. Обычно изделие подвергается нескольким нагружениям на разные расчётные случаи.

5.1.2. Расчётные случаи

В процессе эксплуатации изделие проходит несколько характерных этапов, на каждом из которых действуют свои характерные нагрузки.

К таким этапам можно отнести следующие:

- транспортировку изделия на различных видах транспорта (железнодорожном, автомобильном и т.д);
- такелаж при разгрузке и погрузке изделия;
- старт изделия;
- полёт с максимальной перегрузкой;
- полёт с максимальным скоростным напором;
- полёт в невесомости или в условиях микрогравитации;
- включение двигателя в невесомости;
- выключение двигателя в невесомости;
- посадка.

На каждом из этапов расчётным путём определяется комбинация максимальных внешних нагрузок, которая и определяется как расчётный случай. При эксплуатации проводятся замеры действующих нагрузок на всех этапах, и по результатам замеров уточняются нагрузки на расчётных случаях, а также расчётные модели. Из расчётных случаев выбираются те, на которых реализуются комбинации максимальных нагрузок, на которые и проводятся комплексные статические испытания.

5.1.3. Требования к изделиям для статических испытаний

Для испытания изделия на статические нагрузки основной проблемой является создание объекта испытаний, к которому данные внешние нагрузки можно приложить, при этом должно быть получено внутреннее напряжённое состояние, соответствующее условиям эксплуатации. Испытания проводятся до достижения величин расчётных нагрузок.

При этом необходимо соблюдать условие, чтобы напряжения в материале не превышали предела пропорциональности при приложении эксплуатационных уровней нагрузок. В дальнейшем при увеличении нагружения до расчётных

нагрузок могут возникать пластические деформации, что приводит к изменению конфигурации силовых элементов и невозможности повторного использования объекта испытаний. Учитывая это обстоятельство, до расчётных нагрузок испытывают только в самых нагружённых расчётных случаях. Для обеспечения испытания всех критичных элементов на предельных нагрузках изделие разбивают на несколько различных объектов испытаний, например, отдельно испытываются топливные баки, корпуса, переходные отсеки, надстройки, аэродинамические обтекатели, крылья, элементы оперения и т. д.

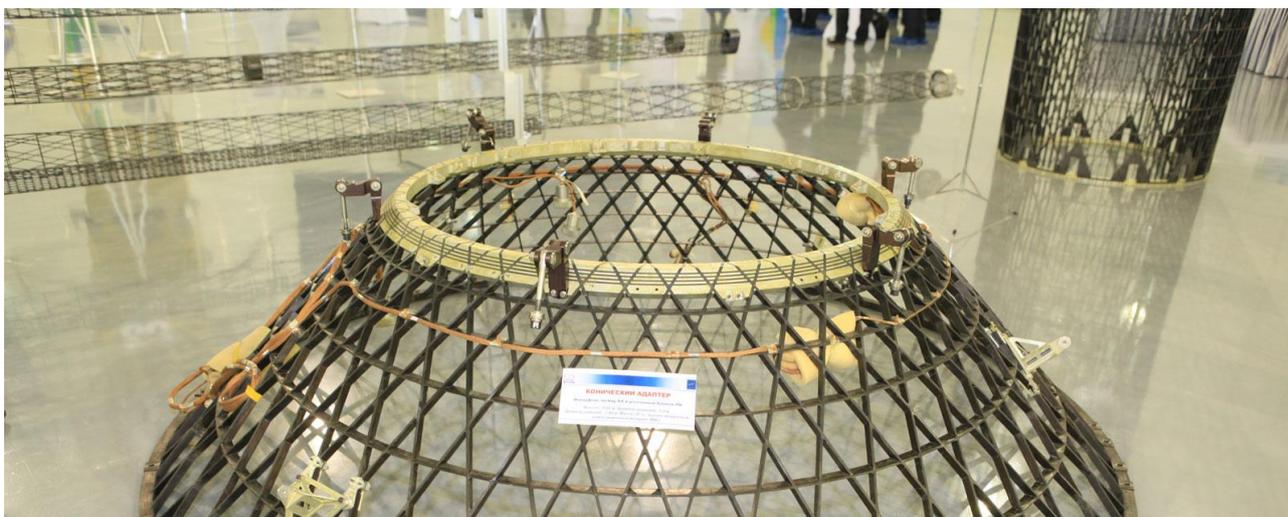


Рисунок 5.1 – Адаптер космического аппарата на статических испытаниях

Разделяя изделие на несколько объектов испытаний, необходимо обеспечить реальное распределение сил на интерфейсах. Эта задача решается путём присоединения к объекту испытаний имитаторов смежных отсеков, которые одновременно являются нагрузочным приспособлением.

Таким образом, формируется ряд сборок для испытания различных частей изделия, причём ряд отсеков могут участвовать дважды в таких испытаниях как объект испытаний и как нагрузочное приспособление.

Таким образом в испытаниях участвует не менее двух изделий, разбитых на под сборки. Например, для ускорителя первых ступеней КРК «Ангара» для статических испытаний использовалось 8 подборок.

5.2. Модели для динамические испытаний

5.2.1. Задачи для комплексных динамических испытаний

К основным задачам динамических испытаний относится определение собственных частот конструкции и её элементов, входящих в изделие, моделирование вибрационных нагрузок на элементах изделия при воздействии различных задающих нагрузок, проверка запасов по вибропрочности и ресурсу наиболее нагруженных элементов.

5.2.2. Особенности при задании нагрузок

Нагрузки при виброиспытаниях определяются действующими для каждого типа конструкции нормами. По видам они делятся на синусоидальные вибрации, случайные гармонические вибрации и импульсные или ударные воздействия.

Синусоидальные вибрации, задаются в виде знакопеременного непрерывного закона изменения нагрузки с постоянной амплитудой и ограничиваются временем действия. В нормах заранее задаются частота и амплитуда, а также время действия.

Целью данного испытания является выявление механических дефектов и/или ухудшения заданных характеристик, а также сопоставление полученных результатов с требованиями соответствующей нормативно-технической документации (НТД) для определения степени годности элементов, аппаратуры и других изделий к воздействию заданной вибрации. В некоторых случаях это испытание может быть использовано для определения конструктивной прочности образцов и изучения их динамических характеристик.

В соответствующей НТД должна выбираться длительность воздействия вибрации. Если длительность воздействия составляет 10 часов или более для каждого направления или частоты, время может быть разделено на периоды.

Испытание на воздействие случайной вибрации представляет собой сложный вид испытания. При задании нагрузок в данном виде испытания используется спектральная плотность ускорения (СПУ).

СПУ случайной вибрации выражается как ускорение в квадрате, делённое на частоту ($g^2/Гц$). Спектр СПУ определяет закон изменения СПУ в пределах частотного диапазона. Наиболее часто используемые диапазоны частот

следующие: 20 – 150, 20 – 500, 20 – 2000 Гц. Номинальный уровень СПУ в заданном частотном диапазоне соответствует следующим значениям: 0,0005; 0,001; 0,002; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 $g^2/Гц$.

Во время выдержки образец подвергают воздействию случайной вибрации при заданном уровне. Образцы подвергают воздействию вибрации в трёх взаимно перпендикулярных осях поочерёдно. Направления воздействия вибрации выбираются таким образом, чтобы все дефекты образца можно было легко выявить. Методики испытания на воздействие случайной вибрации дополняют существующие испытания на воздействие синусоидальной вибрации.

Импульсное или ударное воздействие характеризуется кратковременностью и определяется подводимой к изделию энергией.

Для определения вибронагрузок определяются источники вибрации, например, работа двигателя, состояние дорожного покрытия при транспортировке, аэродинамические нагрузки, пульсации в гидросистеме, срабатывание пиросредств, ударные воздействия при посадке и т. д. На основании анализа внешних воздействий определяются режимы по частоте, амплитуде и времени воздействия для различных видов вибронагружения.

Так как вибронагрузки в силовых элементах, входящих в силовую схему изделия, учитываются при определении квазистатических нагрузок, основным объектом испытаний при виброиспытаниях являются элементы вторичных структур.

Уровни нагрузок с учётом частотной характеристики изделия для различных частей изделия могут быть разными. Задача испытателя - подобрать задающее воздействие так, чтобы отклик изделия соответствовал заданным уровням как по частоте, так и по амплитуде. Для этой цели создаются математические модели, которые позволяют по нескольким контрольным датчикам вибрации производить пересчёт воздействий для заданных элементов изделия.

5.2.3. Требования к изделиям для виброиспытаний

Обычно изделие для виброиспытаний является полной моделью изделия за исключением электронных устройств, которые заменяются весовыми макетами, и тепловых агрегатов, например двигателей, также заменяющимися весовыми и инерционными макетами.



Рисунок 5.2 – Изделие на вибростенде

Разделение изделия на несколько подборок возможно при ограниченной мощности вибростенда для испытаний. Приложение задающих нагрузок производится по осям отдельно, для чего изделие оборудуются нагрузочными приспособлениями, стыкуемыми к штатным интерфейсам. Для крупногабаритных изделий создаются специальные стенды, а в редких случаях строятся крупногабаритные корпуса с силовым полем и стенами.

5.3. Модель для комплексных пневмогидравлических испытаний

5.3.1. Задачи пневмогидравлических испытаний

К основным задачам комплексных пневмогидравлических испытаний относятся проверки функционирования ПГС изделия при использовании компонентов топлива и рабочих тел, включая жидкости и газы, а также проливки и продувки расходных систем. В рамках этих испытаний проводятся заправки компонентами, их слив или сброс давления газов. Важными вопросами являются алгоритмы срабатывания агрегатов, входящих в ПГС, и проверка гидравлических характеристик магистралей. На начальных этапах испытаний часто используются имитаторы рабочих тел.

5.3.2. Некоторые особенности проведения испытаний

Учитывая задействование большого количества агрегатов в системах ПГС изделия и сложные алгоритмы их функционирования, при реализации самих испытаний и при подготовке к испытаниям необходимо создавать стендовую систему управления изделием. Использование штатной СУ в большинстве случаев не представляется возможным в связи с существенно большим потребным ресурсом СУ для задач испытаний, что связано в основном с проведением многократных испытаний, а также необходимостью управления существенно большим количеством систем по сравнению со штатным изделием.

Наличие дополнительных систем требуется для обеспечения безопасности проведения испытаний. Использование большого количества горючих компонентов выдвигает требования к пожаробезопасности и взрывобезопасности. Это требует установку на изделие систем ликвидации пожара и системы быстрого удаления компонентов из изделия в аварийной ситуации для снижения последствий пожара или взрыва.

Значительно большая сложность изделия требует создания соответствующего стенда, включающего в себя системы обеспечения функционирования изделия и обеспечения безопасности испытаний.

5.3.3. Требования в комплексном изделию для испытаний ПГС

Изделия для испытаний ПГС включает в себя штатный корпус, оснащённый двигательной установкой, системой измерений, системами заправки, системой управления агрегатами ПГС и расходом топлива. Для

проведения сливов компонентов из баков для имитации штатной работы двигателя, изделие должно быть оснащено стендовой системой слива. Использование штатного двигателя для этих целей невозможно.

Для снижения опасности изделие часто делят на два по компонентам топлива, т. е. изделие для испытаний систем горючего и изделие для испытаний окислителя. Изделие оснащается системами безопасности: системой аварийного наддува, системой аварийного слива, системой контроля утечек компонентов и системой пожаротушения.

Все системы, включая штатные и нештатные, должны быть соединены с соответствующими системами стенда. Это требует создания большого количества интерфейсов, выполненных по нештатной упрощённой схеме, штатные интерфейсы обычно не используются. Таким образом, значительное время при проведении испытаний занимает обвязка изделия в стенде.

5.4. Изделие для огневых испытаний

5.4.1. Задачи огневых комплексных испытаний

«Огневые» испытаниями называются испытания с включением двигателей в состав изделия. При этих испытаниях имитируются штатные этапы подготовки изделия к запуску и штатные алгоритмы функционирования бортовых систем при запуске и работе двигателя в полёте.

Для перехода к огневым испытаниям двигатель должен пройти полную экспериментальную отработку. Основной задачей для проведения испытаний двигателя в составе изделия является проверка взаимодействия двигателя с системами РН. При работе двигателя возникают реальные статические и динамические нагрузки. Возникающие нагрузки имеют существенные отличия от полётных, так как изделие удерживается в стенде.

5.4.2. Требования к проведению испытаний

Испытания проводятся на специальных «огневых» стендах, позволяющих отводить газовую струю продуктов сгорания и удерживать изделие на стенде. Стенд имеет конструкцию, похожую на стартовое сооружение, но, помимо необходимости удержания изделия, стенд должен иметь существенно больший

ресурс. Стенд комплектуется системами подготовки, заправки, слива и безопасности.

Система управления изделием используется стендовая, учитывая особенности функционирования изделия, что связано с неподвижностью изделия и невозможностью реализовать штатные алгоритмы.

После выключения двигателя требуется привести изделие в безопасное состояние, это требует использования стендовых специальных систем и стендовых алгоритмов.

5.4.3. Требование к изделию для «огневых» испытаний

Изделие для «огневых» испытаний оснащается штатным двигателем. Для удержания изделия используется специальная рама, интегрированная в конструкцию изделия. Это приводит к существенному изменению конструкции, корпуса, баков, проставок, что в свою очередь приводит к изменению монтажей систем. Вопрос усложняется необходимостью увеличения прочности изделия и установкой бронезащиты вокруг двигателя. Изделие оснащается системами безопасности, как и изделие для пневмогидравлических испытаний. Таким образом, изделие для «огневых» испытаний существенным образом отличается от штатного, и это требует от проектировщика усилий, чтобы сохранить те характеристики штатных систем изделия, которые определяют выполнение задач испытаний.

5.5. Изделие для комплексных тепловых испытаний

5.5.1. Задачи тепловых испытаний

Изделия для проведения тепловых испытаний предназначены для комплексной проверки активных систем поддержания теплового режима изделия.

Активные системы СТР делятся, во-первых, на системы поддержания температуры газовых сред в герметичных объёмах. Это относится к приборным отсекам или к обитаемым отсекам. К основным задачам таких систем можно отнести необходимость сброса тепла, выделяемого внутри герметичного отсека, и поддержания температуры среды в заданном диапазоне. Сброс тепла может

быть пассивным, через оболочку герметичного отсека, или активным, с установкой жидкостной системы передачи тепла на внешний радиатор.

Во-вторых, это системы поддержания нормальной температуры в негерметичных отсеках в условиях, когда изделие находится в атмосфере, чаще всего при подготовке на земле. В этом случае основная задача - это подача подогретого газа в отсек для компенсации естественных потерь тепла.

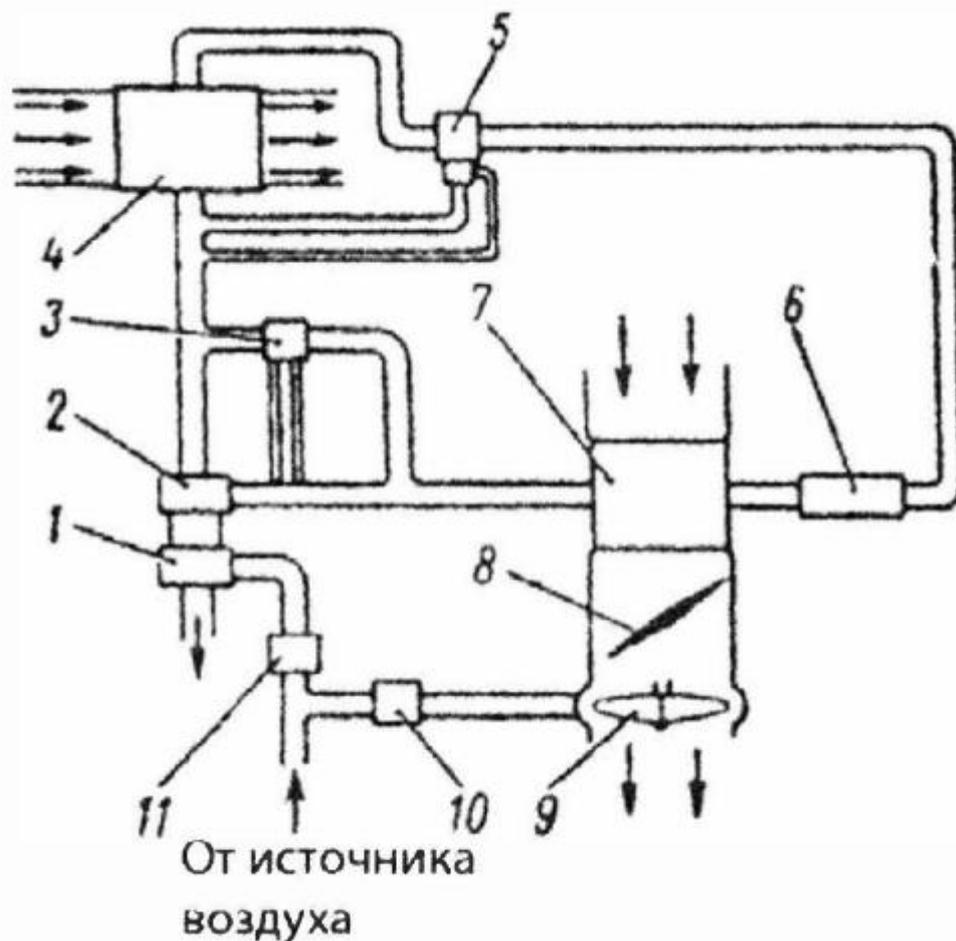


Рисунок 5.3 – Схема компрессионно-испарительной установки: 1 - турбина; 2 - компрессор; 3 - автомат предупреждения помпажа компрессора; 4 - испаритель; 5 - терморегулирующий вентиль; 6 - ёмкость с жидким фреоном; 7 - конденсатор; 8 - управляющая заслонка; 9 - вентилятор; 10- клапан управления вентилятором; 11 - клапан управления подачи воздуха к турбине

В-третьих, это поддержание тепловых режимов изделий в вакууме. Эта задача решается установкой жидкостной системой перераспределения тепла между горячими и холодными элементами.

В каждом из этих случаев требуется создание изделия или его фрагмента для имитации реальных тепловых условий для проверки эффективности функционирования активных тепловых систем.

При этом определяются фактические тепловые и гидравлические характеристики системы, определяются потребные расходы рабочих тел и мощности нагрева.

5.5.2. Особенности проведения испытаний

Для проведения испытаний необходим стенд, оснащённый системами, обеспечивающими работу бортовых систем. При этом необходимо обеспечить внешние условия, в которых реально функционирует изделие. Для систем, работающих на открытом воздухе, необходимо имитировать предельные условия по температурам. Для изделий, работающих в вакууме, испытания проводятся в вакуум-камере с имитацией нагрева солнечной энергией, а также захлаживания до температур космического пространства.

5.5.3. Требования к изделию

Изделие представляет собой штатный корпус или его часть с установкой штатных систем обеспечения температурных режимов. Кроме этого, должны быть установлены все элементы, пассивно влияющие на перераспределения тепла. При этом приборы электрических систем заменяются тепловыми имитаторами.

5.6. Изделие для испытаний на разделение

5.6.1. Основные задачи испытаний

В процессе полёта ЛА для уменьшения полётной массы проводятся операции разделения при сбросе отработавшей ступени или отстрелы различных элементов, в дальнейшем полёте не используемые. В состав систем разделения входят элементы разрыва механической связи, например замки, захваты, пироболты, и элементы разведения, такие как толкатели, тормозные двигатели,

бугеля, направляющие. При испытаниях систем разделения проверяется не только факт разделения, но и, главное, определяются возмущения, которое приобретает изделие в результате процесса разделения.

Учитывая, что в процессе разрыва связей высвобождается значительная энергия, накопленная в виде деформации силовых элементов в нагруженном состоянии, при разделении возникают ударные нагрузки.

5.6.2. А Особенности проведения испытаний

При испытаниях на разделение необходимо моделировать полёт в части действия на разделяемые части сил и моментов в момент разделения. Эти силы совместно с силами, возбуждаемыми средствами разделения, обеспечивают возмущённое движение разделяемых частей. Для обеспечения инерционного движения разделяемых частей необходимо создавать стендовую систему подвески, компенсирующую силу тяжести.

Обычно для упрощения задачи наиболее тяжёлую часть изделия жёстко фиксируют, а подвижность обеспечивают более лёгкой части. В отсутствии трения в стендовой оснастке это обеспечивает правильное относительное движение.

При разделении частей изделия по плоскости допускается проведение упрощённого броскового испытания. При этом изделие жёстко закрепляется отделяемой частью вниз таким образом, чтобы ось отделяемой части, перпендикулярная плоскости отделения, совпадала с направлением силы тяжести. После разделения отделённая часть падает под действием силы тяжести и возмущающих сил.



Рисунок 5.4 – Испытания средств разделения

Сила тяжести может использоваться как имитация перегрузки равной 1 g в полёте. Например, при сбросе головного обтекателя изделие располагают вертикально, при этом сила тяжести имитирует действие тяги двигателя в полёте. Для имитации разделения в невесомости проводят бросковые испытания с разделением в процессе полёта.

Важной особенностью проведения испытаний на разделение является измерение перемещений отделяемой части, которые фиксируются либо механически, либо с использованием высокоскоростной видеосъемки



Рисунок 5.5 – Сброс головного обтекателя (ГО)

5.6.3. Требования к изделию

Изделие обычно включает в себя штатные корпуса разделяемых частей, оснащённых штатными средствами разделения, а также стендовыми системами измерений и системами управления механизмами разделения. Остальное оборудование заменяется массовыми имитаторами. Для обеспечения необходимых массово-инерционных свойств отделяемой части её оснащают дополнительными балансировочными грузами.

5.7. Изделие для технологических испытаний

5.7.1. Основные задачи испытаний

Технологическое изделие создаётся для проверки технологии работ с изделием на этапе всего жизненного цикла. К таким этапам относятся заводские работы по контрольной сборке и разборке изделия, включая отработку технологии замены оборудования, вскрытия люков, снятие и установка обтекателей или другого навесного оборудования; такелажные работы с изделием, погрузка и транспортировка, а также последующие работы на полигоне.

При проведении работ используется, помимо стандартного оборудования, такие как стационарные и подвижные краны, средства транспортирования, а также специально созданное оборудование для данного изделия. Специальное оборудование для его аттестации необходимо проверять с использованием макета изделия, поэтому комплексные испытания специального оборудования обычно совмещаются с отработкой технологии.

При работах на полигоне на техническом комплексе проводятся работы, аналогичные заводским, однако оборудование и технология может существенным образом отличаться от заводских работ. Помимо механо-технологического проверяется оборудование для поддержания температурно-влажностного режима, оборудование для проведения пневмогидроиспытаний.

Задач для проверки электро-радиосистем на это изделие обычно не возлагается, так как эти задачи могут решаться с использованием штатного изделия. Учитывая большие запасы ресурса бортового оборудования, после технологических испытаний оно может использоваться для лётных испытаний, в то время как корпусные элементы и механизмы после многократного нагружения уже не могут быть допущены к лётным испытаниям.

После сборки технологическое изделие вывозится на стартовую позицию, и производится проверка технологии работы с изделием, совместимость интерфейсов, проверка доступности персонала к различным точкам изделия и проверка технологии работ в реальных условиях. На данном макете проверяются механические системы автоматического разделения коммуникаций.

5.7.2. Требования к изделию

Изделие для технологических испытаний представляет собой штатное изделие на котором электро-радиосистемы заменены на весовые макеты для сохранения массово-инерционных характеристик изделия. Для управления агрегатами участвующими в работах с наземным оборудованием установлены стендовые средства. На изделии также устанавливается система измерений либо штатная, либо стендовая в зависимости от конкретного изделия.

5.8. Изделия для заправочных испытаний

5.8.1. Основные задачи испытаний

Изделие для заправочных испытаний предназначено для проверки технологии подготовки, заправки, поддержания параметров в заправленном баке, слива и приведение в исходное состояние систем изделия. Испытания проводятся на штатном наземном оборудовании с реальными компонентами топлива, газов и рабочих жидкостей. При испытаниях задействуются штатные средства пожара- и взрыва- предупреждения, входящие в состав наземного комплекса. Испытания проводятся на техническом комплексе, специальной заправочной станции, на заправочных площадках и на стартовом сооружении.

Учитывая, что в испытаниях задействуются штатные наземные системы, испытания совмещаются с комплексными испытаниями наземных систем. Некоторые задачи заправочного изделия пересекаются с задачами технологического изделия, поэтому для экономии средств и времени заправочный макет совмещают с технологическим.

5.8.2. Требования к изделию

Изделие для заправочных операций является штатным, оснащено всеми штатными системами, кроме системы управления и системы телеметрической информации. Для удешевления изделия оно оснащается специальным макетом двигателя и макетами управляющих органов, электро-гидроприводов.

5.9. Стенд-электроаналог

5.9.1. Основные задачи испытаний

Для комплексных испытаний электросистем изделий создаётся стенд-электроаналог. Основной задачей испытаний на этом стенде является проверка взаимодействия систем изделия, проверка взаимосогласованности интерфейсов и взаимовлияния систем друг на друга при функционировании. В процессе испытаний проверяется циклограмма функционирования изделия на этапе подготовки и полёта. В том числе проверяются все тракты управления и обмена информацией. По специальным программам проверяется правильность реакции органов управления на управляющие воздействия.

Важным вопросом является проверка функционирования системы в нештатных ситуациях и отработка режимов выхода из них.

При проведении испытаний проводится отработка технологии проверок изделия при приёмо-сдаточных испытаниях на заводе изготовителя и технология проверок на техническом и стартовом комплексах.



Рисунок 5.6 – Электрические испытания спутника

5.9.2. Особенности проведения испытаний

Для обеспечения испытаний используется наземная аппаратура для проверок каждой из систем, входящих в изделие.

Кроме аппаратуры для проверок необходима аппаратура для управления системами в процессе испытаний, в задачи которой входит также имитация внешних условий полёта для режимов, реализующих полётные алгоритмы. Обычно используется комплект аппаратуры, создаваемый для испытаний в процессе эксплуатации на ТК и СК.

5.9.3. Требования к изделию

Изделие-электроаналог включает в себя набор систем, соединённых штатными кабельными сетями. Исполнительные органы присутствуют либо в штатном виде, либо в виде имитаторов. Корпус изделия представляет собой имитатор, позволяющий штатно установить приборы, проложить кабельные трассы и закрепить органы управления, но при этом должен быть обеспечен доступ к каждому прибору, а также возможность проложить стендовые кабельные сети. Изделие располагается в стенде, позволяющем удобно работать с каждым прибором, а также установить наземную аппаратуру в максимальной близости от изделия. Изделие и стенд создаётся таким образом, чтобы изделие могло использоваться в процессе всего периода эксплуатации изделия для поиска и исследования неисправностей.

5.10. Изделие для испытаний радиотехнических систем

5.10.1. Основные задачи испытаний радиотехнических систем

В состав изделия могут входить радиотехнические системы, которые содержат как передатчики, так и приёмники, работающие в различном частотном диапазоне. К таким системам относятся телеметрические системы, командные радиолинии, ретрансляторы различного назначения, навигационные системы, принимающие сигналы от спутников. Во все эти системы входит высокочастотная часть, включающая приёмные и передающие антенно-фидерные устройства.

Для проверки совместимости их работы на изделии необходимо проводить испытания на радиочастотную и электромагнитную совместимость. В процессе испытаний определяются фактические диаграммы направленности антенн с учётом конструкции и компоновки изделия.

5.10.2. Особенности испытаний изделия

Учитывая, что при испытаниях радиочастотных систем большое значение имеет наличие внешних помех, испытания проводят в специальных безэховых камерах. Эти камеры изолированы от внешних излучений металлическими экранами, а стены пол и потолок покрыты специальными покрытиями,

имеющими малый коэффициент отражения в требуемых диапазонах частот для исключения отражений собственных излучений. Камеры должны быть оборудованы приёмниками излучений, позволяющими поглощать излучаемую мощность.

Для управления бортовыми системами рабочее место испытаний должно быть оборудовано наземной аппаратурой, позволяющей проводить необходимые этапы испытаний.

5.10.3. Требования к изделию

Изделия для комплексных радиотехнических испытаний должно иметь штатный корпус со штатным внешним навесным оборудованием, а также установленными штатными радиотехническими системами. Остальные системы изделия устанавливаются в объёме, необходимом для проведения испытаний и могут заменяться имитаторами. Изделие оснащается поворотным столом для возможной переориентации изделия в процессе испытаний.

5.11. Изделия для испытания на воздействия факторов космического пространства или поражающих факторов

В ряде случаев требуется проверка стойкости изделий к поражающим факторам космического пространства, включающим облучение высокоэнергетическими частицами или высокочастотным электромагнитным излучением, или аналогичными факторами, созданными искусственно. При этом рассматриваются уровни облучения, которые могут привести к нарушению свойств материалов или выходу из строя аппаратуры изделия.

На сегодняшнем этапе такие комплексные испытания в основном заменяются математическим моделированием с учётом результатов испытаний, полученных на образцах и элементах электрорадиоизделий.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ПРОВЕРКЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛА (ЗАВОДСКИЕ ИСПЫТАНИЯ)

Производство изделий — это сложный технологический процесс, использующий различные методы. При разработке технологической документации весь технологический процесс разбивается на отдельные технологические операции.

При изготовлении изделий на каждом технологическом переходе или технологической операции проводится контроль соответствия создаваемой сборочной единицы технологической и конструкторской документации. Требования к такому контролю и его состав излагаются в конструкторской документации и могут быть объединены под одним термином «контрольные испытания».



Рисунок 6.1 – Классификация основных методов производства

Контрольные испытания входят в технологию изготовления, проводятся заводом-изготовителем и направлены на подтверждение качества изготовления изделия. Требования к контрольным испытаниям определяются конструктором и, в отличие от экспериментальной отработки, не нацелены на подтверждение характеристик изготавливаемого изделия, а носят некоторый обобщённый вид, направленный на подтверждение стабильности технологии, и в общем виде носят упрощённый характер, снижающий трудоёмкость проведения таких

испытаний. Проводятся контрольные испытания на всех этапах изготовления в соответствии с КД и имеют несколько разновидностей в зависимости от этапа изготовления.

Контроль технического состояния при изготовлении направлен на выявление неисправностей и дефектов.

Неисправность — это состояние объекта, когда он не соответствует хотя бы одному требованию НТД или в нём есть хотя бы один дефект. Дефекты не всегда приводят к отказам при проведении испытаний, и поэтому не могут быть выявлены, но могут привести к отказам на этапе эксплуатации. Система контроля настроена на максимальное выявление дефектов изделия при изготовлении.

Контроль и испытания должны быть построены таким образом, чтобы имеющиеся дефекты выявлялись на более ранних стадиях изготовления, а операции контроля необходимо по времени проводить как можно ближе к операциям сборки.

6.1. Виды контрольных испытаний

Для каждого вида контрольных испытаний определены в нормативной документации порядок и организация их проведения. Необходимость соблюдения этих требований определяется жёстким контролем качества производства ЛА. Для каждого вида испытаний создаётся специальное рабочее место, которое должно проходить регулярную аттестацию, и контроль за соблюдением гарантийных сроков и регламента входящего оборудования.

Контролируемые параметры - геометрические и физические (механические, температурные, электрические).

По физической природе параметры могут быть:

- пространства (объёмов) и времени;
- формы и расположения поверхностей;
- механических величин;
- электрических и магнитных величин;
- тепловых и температурных величин;

- акустических величин;
- световых и электромагнитных излучений;
- оптических величин;
- периодических величин;
- ионизирующих излучений;
- химических и молекулярных величин;
- внешнего вида.

6.1.1. Установочные испытания

При начале изготовления изделия или сборочной единицы должно быть предусмотрено изготовление опытной партии и проведение установочных испытаний на этой партии изделий. Обычно такие испытания проводятся изготовителем в объёме приёмочного этапа автономной отработки для данного узла или отдельных видов комплексных испытаний для изделия. В случае проведения комплексных испытаний их объём может быть скорректирован с точки зрения возможности реализации на штатном изделии. Установочные испытания должны проводиться также при существенном изменении технологии производства.

Для испытаний изготавливается установочная партия от 1 до 3 изделий.

6.1.2. Периодические испытания

С целью подтверждения стабильности технологии производства проводятся периодические испытания. Их частота зависит от объёма производства, его стабильности и равномерности по времени. Обычно такие испытания проводятся раз в год или проводятся один раз за заданный период производства. Частота проведения периодических испытаний влияет на стоимость производства, и поэтому она должна быть оптимизирована для конкретного изделия.

Периодические испытания также проводятся в объёме приёмочного этапа автономной отработки узла или отдельных видов комплексных испытаний изделия с учётом тех же ограничений, что и установочные испытания.

Для испытаний изготавливается один объект испытаний.

6.1.3. Контрольно-выборочные испытания

Для контроля качества изготовления узлов или сборочных единиц могут формироваться партии таких изделий, определяемые едиными поставками материалов, оборудованием и периодом изготовления. При этом считается, что технология одинакова для всех изделий, включённых в партию, включая участвующий в производстве персонал.

Для контроля партии изделий заказчик выбирает одно или несколько изделий из партии для проведения испытаний. Такие испытания называются контрольно-выборочными. Объём испытаний обычно соответствует объёму периодических испытаний.

6.1.4. Предъявительские испытания

Каждое изделие или сборочная единица после завершения изготовления подвергается итоговым испытаниям. Вначале проводится этап испытания заводом-изготовителем самостоятельно. Такие испытания называются предъявительскими. Окончательно собранное изделие проходит испытания под контролем ОТК. Испытания проходят в объёме, заданном в ТУ на данное изделие. Задачи испытаний состоят в подтверждении качества изготовления изделия в объёме характеристик, заданных в ТУ. При этом испытания не должны снижать потребительских характеристик изделия, а потребный для испытаний ресурс должен быть изначально заложен в конструкцию.

6.1.5. Приёмо-сдаточные испытания

Приёмо-сдаточные испытания проводятся совместно с заказчиком после успешного прохождения предъявительских испытаний. Объём испытаний одинаков на обоих этапах.

6.1.6. Входной контроль

При поставке готовых изделий покупателю проводится цикл испытаний, называемых входным контролем. Эти испытания должны продемонстрировать покупателю, что изделие соответствует требуемому уровню качества. Испытания проводит покупатель по документации изготовителя. При этом

изготовитель поставляет всё необходимое оборудование для проведения входного контроля.

6.2. Виды испытаний на заводе-изготовителе

6.2.1. Внешний осмотр

В начале любых испытаний проводится внешний осмотр изделия. Целью осмотра является проверка состояния изделия, соответствие конфигурации КД, наличие дефектов или отклонений, комплектность изделия. Внешний осмотр может проводиться комиссионно, в этом случае составляется акт внешнего осмотра.

6.2.2. Пневмогидроиспытания

Конструкция ЛА включает в себя большое количество герметичных объёмов - это баки и ёмкости для хранения жидкостей, ресиверы и баллоны для хранения газов, трубопроводы для подачи компонентов, насосы для создания давления, редукторы и дроссели для регулирования давления, камеры для химических реакций, включая горение, запорная арматура и различные датчики. Все эти составные части, объединённые в системы, образуют герметичные полости. После изготовления необходимо провести испытания для контроля герметичности и проверки фактических гидравлических характеристик полученной системы или её части.

6.2.2.1. Гидростатические испытания

Прежде чем проводить проверки герметичной полости изделия с подачей давлений необходимо провести статические испытания или опрессовку, т. е. проверку прочности элементов, образующих герметичную полость, с целью подтверждения безопасности проведения работ. Опрессовку проводят подачей давления жидкости с 1,5 запасом по отношению эксплуатационным давлениям.

6.2.2.2. Испытания на герметичность

Абсолютно герметичных полостей не бывает, потому что в любом материале или соединении имеется большое количество неплотностей или трещин через которые может утекать рабочее тело. Негерметичность определяется условным сквозным отверстием с заданным диаметром для

определённого герметичного объёма или элемента конструкции. При определении норм герметичности учитывается либо фактически потерянное рабочее тело - жидкость или газ, либо степень утечек, создающих опасную концентрацию компонента вне герметичной полости, например, в случае пожароопасности или токсичности истекающего компонента. В связи с этим задаётся степень утечек для каждого типа конструкции, стыка и соединения. В системах с большим количеством стыков эти требования очень жёсткие.

Контроль герметичности может проводиться несколькими методами, их классификация приведена в таблице.

Таблица 6.1 – Классификация контроля герметичности

Классификационный признак	Методы контроля
Вид пробного вещества	газовые, гидравлические
Решаемые задачи	оценка суммарной герметичности, локализация течи
Способ индикации утечки	манометрические (вакуумметрические) пузырьковые, газоаналитические, химические, радиоактивных изотопов и д
Применяемые средства	инструментальные, органолептические
Уровень технического оснащения	ручные, механизированные, автоматизированные

Утечка - проникновение вещества через течь под действием перепада давления.

Течь — это канал или пористость в материале герметичного объёма.

Степень негерметичности — это характеристика герметичного объёма, определяемая суммарной утечкой вещества через течи.

Для разъёмных соединений задаётся величина от 1 до 100 Вт, а для неразъёмных, например сварных соединений или сплошного металла, в зависимости от толщины и качества заготовки задаётся уровень от 10^{-1} до 10^{-6} Вт.

Наиболее простой метод проверки герметичности по спаду давления. В этом случае контролируемую полость выдерживают некоторое время под давлением и замеряют манометром изменение давления за этот период. Метод достаточно грубый, так как требует точных манометров и длительного времени выдержки и применим для запорной арматуры, которая изначально имеет очень низкую степень герметичности. В основном требования по спаду давления задаётся для агрегатов с подвижными запорными элементами.

Для герметичных крупногабаритных ёмкостей с большой протяжённостью стыков метод спада давления применим для предварительной проверки. Для более точного определения суммарной негерметичности системы необходимо помещение её в вакуумкамеру. Давление внутри создаётся воздушно-гелиевой смесью. Гелий как наиболее текучий газ быстро проникает через поры материалов конструкции в камеру, где по содержанию гелия в камере определяется суммарный уровень негерметичности.

Для поиска мест негерметичностей используются универсальные течеискатели, позволяющие определить негерметичности до 10^{-6} Вт. Однако это требует последовательного контроля всей длины стыков, что занимает большое технологическое время.

6.2.2.2. Контроль гидравлических характеристик

Для агрегатов, для которых разброс допусков или форм деталей влияет на гидравлические характеристики, проводится их измерение после изготовления. Для этого используются специальные проливочные или продувочные стенды

6.2.2.3. Контроль давлений

В ряде случаев при изготовлении герметичных полостей требуется заполнение их рабочими продуктами со штатными или консервационными давлениями. После подачи давления проводится контроль полученных величин с помощью специальных пультов. В дальнейшем обычно производится периодический контроль давлений, и при определении утечек производится подкачка до требуемого уровня.

6.2.3. Контроль целостности, неразрушающие методы контроля

Неразрушающие методы контроля используются для поиска скрытых дефектов различного происхождения в сплошных материалах или соединениях без разборки изделия и без снижения его качества.

6.2.3.1. Приборы и методы акустического контроля

Принцип действия основан на поглощении и рассеянии как составляющих затухания упругих волн в ограниченных средах, так и трансформации волн по границе раздела двух сред.

Для поиска дефектов используется эхо-дефектоскоп на основе ультразвукового эхо-метод. Для контроля толщин используются ультразвуковые импульсные толщиномеры или ультразвуковые резонансные дефектоскопы-толщиномеры.

6.2.3.2. Приборы и методы вибрационного контроля и диагностики

Физические основы методов обнаружения дефектов основаны на результатах измерения параметров вибрации. Наиболее распространённые типы электроизмерительных преобразователей, используемых для измерения, являются акселерометры фирмы «Брюль энд Кьер».

6.2.3.3. Приборы капиллярного контроля

Физические основы капиллярного контроля основаны на использовании дефектоскопических материалов: проникающих жидкостей, проявителей, очистителей. На их основе создана аппаратура для цветного и люминесцентного контроля.

6.2.3.4. Приборы и методы магнитного контроля

Методы основаны на измерении напряжённости магнитных полей, намагниченности и индукции. Характер магнитных свойств связан с химическим и структурным состоянием материала. Существуют методы магнитной дефектоскопии: магнитопорошковый, феррозондовый, магнитоиндукционный, с датчиками Холла, магниторезистивный, магнитографический.

6.2.3.5. Приборы и методы оптического контроля

Физическая природа оптических явлений, используемых для контроля: дифракция, интерференция, поляризация, рассеяние света, фотоэффект. Принципы построения оптических приборов контроля основаны на согласовании приёмников излучения с оптической системой. Аппаратура и методы оптического контроля: средства визуального контроля, микроскопы, стереомикроскопы, эндоскопы, интерферометрические и голографические приборы, приборы поляризационного контроля.

6.2.3.6. Приборы и методы радиационного контроля

Основы методики радиационного контроля основаны на взаимодействии заряженных частиц, нейтронов, рентгеновского и гамма-излучения с веществом. Для испытаний используются следующие источники излучения: рентгеноаппараты, линейные ускорители, бетатроны, микротроны, радиоактивные изотопы. Методы регистрации излучения: фотоплёнка и усиливающие экраны, ксерография, сцинтилляционные счётчики.

6.2.3.7. Приборы и методы радиоволнового контроля

Физическая природа метода основана на распространении радиоволн и взаимодействии их с веществом с учётом отражения, преломления, поглощения, рассеяния, интерференции, дифракции. Для контроля используются радиолакаторы различных модификаций.

6.2.3.8. Приборы и методы теплового контроля

Для использования теплового контроля применяются тепловизоры, использующие приёмники инфракрасного излучения, использующие термоэлектрические и жидкокристаллические преобразователи. Принципы построения пирометрии: радиационные, яркостные, частичного измерения цветов. В ряде случаев применяются приёмники с тепловизионными сканирующими системами.

6.2.3.9. Приборы и методы электрического контроля

Основы электрического метода основаны на измерении электрического сопротивления. Приборы для контроля дефектов и химического состава

основываются на измерении электросопротивления, тангенса угла потерь, диэлектрической постоянной.

6.2.3.10. Приборы и методы электромагнитного контроля

Физические основы метода определяются с использованием вихревых токов. Разновидности преобразователей, их конструкция, область применения основаны на анализе влияния электропроводности, магнитной проницаемости. При этом используются следующие способы разделения информации: амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, переменного-частотный.

6.2.4. Электроиспытания

После сборки электросистем, включающих приборы и кабельные сети, проводится цикл проверок, позволяющих подтвердить правильность сборки и работоспособность системы. Электроиспытания разбиваются на несколько этапов.

6.2.4.1. Защитные операции

Защитные операции проводятся в начале каждого цикла электроиспытаний и предназначены для обеспечения безопасности проведения последующих испытаний. Защитные испытания включают в себя проверку сопротивления изоляции каждой цепи и проверку их целостности и адресности. Для испытаний используется или специальная диагностическая аппаратура, или комплекс проверочной аппаратуры, специально предназначенной для проверок данной системы.

6.2.4.2. Автономные электрические испытания

Автономные испытания проводятся с КПА для данной системы по программе, представленной в ТУ на данную систему, и включают в себя набор программ самотестирования системы и проверку её параметров.

6.2.4.3. Комплексные испытания

После монтажа и автономных проверок всех систем изделия проводятся комплексные испытания. Такие испытания проводятся на специальном рабочем месте, оснащённом всей необходимой проверочной аппаратурой по всем системам. Такое рабочее место называется КИС (контрольно-испытательная

станция). Смысл испытаний заключается в испытании СУ изделия со смежными системами.

Вначале проводятся проверочные включения смежных систем от СУ и проверка функциональных трактов. В состав испытаний включается проверка как предстартовых циклограмм, так и проверка полётной циклограммы, проверки полярности, замер исходного состояния.

6.2.5. Контроль защиты изделия от воздействия статического электричества

ЛА должен быть защищён от накопления статического электричества. Для этой цели все крупные элементы должны быть соединены между собой электрически, что достигается введением в стыки специальной токопроводной смазки или установкой металлизующих перемычек. Кроме этого, корпус изделия при работе в сборочном цеху должен быть заземлён. Это позволяет накопленному статическому заряду стекать в землю.

После сборки изделия проводятся испытания по проверке электрического контакта между отдельными частями с замером электрического сопротивления, которое не должно превышать 10^6 Ом. При этом объемное сопротивление меньше или равно 10^6 Ом. Для кабелей разобщённость с корпусом должна быть не более 10^6 Ом. Эта операция осуществляется специальным оборудованием.

Для проверки стойкости аппаратуры изделия к воздействию наводок в цепях при прохождении статических разрядов проводят испытания с возбуждением электромагнитных полей с контролем функционирования оборудования. Бортовая аппаратура должна функционировать после воздействия электростатического заряда (ЭСР) с разностью потенциалов до 20 кВ при токе разряда до 100 А с длительностью не более 10 мс, при этом частота разрядов 1-2 Гц с энергией до 0,2 Дж. Такие испытания обычно проводят на контрольно-испытательной станции (КИС) с использованием специальных разрядников.

6.2.6. Контроль чистоты

Вопросы чистоты являются очень важными для всех систем ЛА, и в первую очередь для баков и пневмогидросистем. Для окислительных сред эти требования очень жёсткие и не превышают нескольких миллиграмм на бак.

При контроле чистоты используются прямые методы - осмотр контролируемой поверхности, и косвенные - контроль рабочей жидкости.

Чаще всего применяются следующие виды контроля:

- визуальный;
- массовый (гравиметрический) или контроль массы фильтра с загрязнениями после прохождения через него заданного объёма рабочей жидкости, прокачанного через контролируемый объём;
- гранулометрический или подсчёт количества частиц определённого размера на салфетке или контрольном образце.

Для контроля магистралей пневмогидросистем проводится контроль чистоты путём слива моющей жидкости на фильтр. Далее фильтр исследуется на микроскопе с последующей расчётной оценкой загрязнённости пролитого объёма.

При обеспечении продувок отсеков ЛА воздухом с заданной температурой необходим контроль осаждения загрязнений на различных поверхностях изделия, таких как солнечные батареи, радиаторные панели, оптические приборы, иллюминаторы.

Для контроля в потоке воздуха устанавливаются образцы-свидетели из кварцевого стекла. Периодически осуществляется их контроль с помощью микроскопа.

Для контроля на присутствие посторонних предметов используется метод прокручивания. Для этого создаётся специальный стенд, на котором изделие крутится вокруг своей оси и на слух определяется наличие посторонних предметов. Это особенно важно для обитаемых отсеков, где в невесомости эти предметы начинают плавать

6.2.7. Контроль размеров

При изготовлении изделий, начиная с детали до изделия в целом, после каждой операции проводится контроль тех или иных размеров с использованием стандартного мерительного оборудования. На заключительном этапе изготовления изделия проводится ряд специальных испытаний, связанных с контролем размеров.

Контрольная сборка.

После изготовления различных крупногабаритных частей ЛА, транспортировка которых к месту эксплуатации осуществляется отдельно, проводится операция по контрольной сборке изделия в целом. При этом определяется возможность стыковки изделия, то есть контроль размеров интерфейсов составных частей и их формы, позволяющих проводить сборку. Кроме этого, проводится контроль зазоров между различными элементами стыкуемых частей. В ряде случаев, когда участие в сборке штатных частей изделия невозможно, например, когда они изготавливаются на разных заводах, используются специальные приспособления (контрмакеты) имитирующие габариты отсутствующих частей изделия.

Важным вопросом контроля формы изделия является точность положения стыковочных плоскостей по отношению к осям изделия или положения посадочных поверхностей приборов, участвующих в управлении изделием, по отношению к осям изделия.

Для определения осей изделия на отсеки наносят контрольные точки, называемые реперными. После стыковки изделия с помощью оптических приборов проводится проверка точности положения контрольных поверхностей по отношению реперным точкам.

После стыковки полного изделия проводится по реперным точкам контроль прямолинейности оси изделия, называемый - нивелировка.

6.2.8. Контрольное взвешивание

В процессе производства проводится постоянный контроль масс изготавливаемого изделия, начиная с деталей. Для деталей и лёгких сборок проводится контрольное взвешивание.

Для собранного изделия проводится взвешивание на специальном стенде, позволяющем не только определить массу изделия, но и определить положение центра масс, что очень важно для ЛА. Если в процессе полёта отдельные части сбрасываются с изделия, например ступени ракеты, то такая операция проводится с каждой отделяемой частью.

6.3. Метрология

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Все отрасли техники не могли бы существовать без развёрнутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукции. Отраслью науки, изучающей измерения, является метрология.

Измерение физической величины — это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, заключающихся в сравнении (в явном или неявном виде) измеряемой величины с её единицей.

Принцип измерений — это физическое явление или эффект, положенный в основу измерений тем или иным типом средств измерений

6.3.1. Методы измерений

Метод измерения — это способ экспериментального определения значения физической величины, т. е. совокупность используемых при измерениях физических явлений и средств измерений.



Рисунок 6.2 – Методы измерений

Метод непосредственной оценки заключается в определении значения физической величины по отсчётному устройству измерительного прибора прямого действия. Пример: измерение напряжения вольтметром.

Метод противопоставления, при котором измеряемая и воспроизводимая величина одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между величинами. Пример: измерение веса с помощью рычажных весов и набора гирь.

Дифференциальный метод, при котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. При этом уравнивание измеряемой величины известной производится не полностью. Пример: измерение напряжения постоянного тока с помощью дискретного делителя напряжения, источника образцового напряжения и вольтметра.

Нулевой метод, при котором результирующий эффект воздействия обеих величин на прибор сравнения доводят до нуля, что фиксируется высокочувствительным прибором - нуль-индикатором. Пример: измерение сопротивления резистора с помощью четырёхплечевого моста, в котором падение напряжения на резисторе с неизвестным сопротивлением

уравновешивается падением напряжения на резисторе известного сопротивления.

Метод замещения, при котором производится поочерёдное подключение на вход прибора измеряемой величины и известной величины, и по двум показаниям прибора оценивается значение измеряемой величины, а затем подбором известной величины добиваются, чтобы оба показания совпали. При этом методе может быть достигнута высокая точность измерений при высокой точности меры известной величины и высокой чувствительности прибора. Пример: точное измерение малого напряжения при помощи высокочувствительного гальванометра, к которому сначала подключают источник неизвестного напряжения и определяют отклонение указателя, а затем с помощью регулируемого источника известного напряжения добиваются того же отклонения указателя. При этом известное напряжение равно неизвестному.

Метод совпадения, при котором измеряют разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов. Пример: измерение частоты вращения детали с помощью мигающей лампы стробоскопа: наблюдая положение метки на вращающейся детали в моменты вспышек лампы, по известной частоте вспышек и смещению метки определяют частоту вращения детали.

6.3.2. Средства измерений

Средство измерений — это техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности и в течение известного интервала времени.

По метрологическому назначению средства измерений подразделяются на следующие:

— рабочие средства измерений (РСИ), предназначенные для измерений физических величин, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. РСИ являются самыми многочисленными и широко

применяемыми. Примеры РСИ: электросчётчик - для измерения электрической энергии; теодолит - для измерения плоских углов; нутромер - для измерения малых длин (диаметров отверстий); термометр - для измерения температуры; измерительная система теплоэлектростанции, предназначенная получить измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках;

- образцовые средства измерений, предназначенные для обеспечения единства измерений в стране.

По конструктивному исполнению подразделяются на следующие:

- меры;
- измерительные преобразователи;
- измерительные приборы;
- измерительные установки;
- измерительно-информационные системы.

Мера - средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Мера выступает в качестве носителя единицы физической величины и служит основой для измерений. Примеры мер: нормальный элемент - мера Э. Д. С. с номинальным напряжением 1 В; кварцевый резонатор - мера частоты электрических колебаний.

Измерительный преобразователь - средство измерений для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобно для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающийся непосредственному наблюдению человеком (оператором). Часто используют термин первичный измерительный преобразователь или датчик. Электрический датчик — это один или несколько измерительных преобразователей, объединённых в единую конструкцию и служащих для преобразования измеряемой неэлектрической величины в электрическую. Например: датчик давления, датчик температуры, датчик скорости и т. д.

Измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия человеком (оператором).

Измерительная установка - совокупность функционально объединённых средств измерений, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного наблюдения человеком и расположенная в одном месте. Измерительная установка может включать в себя меры, измерительные приборы и преобразователи, а также различные вспомогательные устройства.

Измерительно-информационная система - совокупность средств измерений, соединённых между собой каналами связи и предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

6.3.3. Метрологические характеристики средств измерений

Все средства измерений, независимо от их конкретного исполнения, обладают рядом общих свойств, необходимых для выполнения ими их функционального назначения. Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называются метрологическими характеристиками. Комплекс нормируемых метрологических характеристик устанавливается таким образом, чтобы с их помощью можно было оценить погрешность измерений, осуществляемых в известных рабочих условиях эксплуатации посредством отдельных средств измерений или совокупности средств измерений, например автоматических измерительных систем.

Одной из основных метрологических характеристик измерительных преобразователей является статическая характеристика преобразования (иначе называемая функцией преобразования или градуировочной характеристикой). Она устанавливает зависимость $y=f(x)$ информативного параметра y выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра x входного сигнала.

Статическая характеристика нормируется путём задания в форме уравнения, графика или таблицы. Понятие статической характеристики

применимо и к измерительным приборам, если под независимой переменной x понимать значение измеряемой величины или информативного параметра входного сигнала, а под зависимой величиной y - показание прибора. Если статическая характеристика преобразования линейна, т. е. $y=K(x)$, то коэффициент K называется чувствительностью измерительного прибора (преобразователя). В противном случае под чувствительностью следует понимать производную от статической характеристики.

6.3.4. Погрешности измерений

Истинное значение физической величины - значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта. Результат любого измерения отличается от истинного значения физической величины на некоторое значение, зависящее от точности средств и методов измерения. Отклонение результата измерения от истинного значения физической величины называется погрешностью измерения.

Поскольку определить истинное значение физической величины в принципе невозможно, т. к. это потребовало бы применения идеально точного средства измерений, то на практике вместо понятия истинного значения физической величины применяют понятие действительного значения измеряемой величины, которое настолько точно приближается к истинному значению, что может быть использовано вместо него.

Абсолютная погрешность измерения - это разность между результатом измерения и действительным (истинным) значением физической величины.

Относительная погрешность измерения - это отношение абсолютной погрешности к действительному (истинному) значению измеряемой величины (часто выраженное в процентах).

Погрешность измерения (результатирующая погрешность) является суммой двух составляющих: систематической погрешности и случайной погрешности. Систематическая погрешность - это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся при повторных

измерениях одной и той же величины. Причинами появления систематической погрешности могут являться неисправности средств измерений, несовершенство метода измерений, неправильная установка измерительных приборов, отступление от нормальных условий их работы, особенности самого оператора. Систематические погрешности, в принципе, могут быть выявлены и устранены. Для этого требуется проведение тщательного анализа возможных источников погрешностей в каждом конкретном случае.

Систематические погрешности подразделяются на методические, инструментальные и субъективные.

Методические погрешности происходят от несовершенства метода измерения, использования упрощающих предположений и допущений при выводе применяемых формул, влияния измерительного прибора на объект измерения. Например, измерение температуры с помощью термопары может содержать методическую погрешность, вызванную нарушением температурного режима объекта измерения вследствие внесения термопары.

Инструментальные погрешности зависят от погрешностей применяемых средств измерения. Это может быть неточность градуировки, конструктивные несовершенства, изменения характеристик прибора в процессе эксплуатации.

Субъективные погрешности вызываются неправильными отсчётами показаний прибора человеком (оператором). Например, погрешность от параллакса, вызванная неправильным направлением взгляда при наблюдении за показаниями стрелочного прибора. Использование цифровых приборов и автоматических методов измерения позволяет исключить такого рода погрешности.

Во многих случаях систематическую погрешность в целом можно представить как сумму двух составляющих аддитивной и мультипликативной.

Такой подход позволяет легко скомпенсировать влияние систематической погрешности на результат измерения путём введения отдельных поправочных коэффициентов для каждой из этих двух составляющих.



Рисунок 6.3 – Графическое изображение систематической погрешности

Случайная погрешность — это составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Наличие случайных погрешностей выявляется при проведении ряда измерений постоянной физической величины, когда оказывается, что результаты измерений не совпадают друг с другом. Часто случайные погрешности возникают из-за одновременного действия многих независимых причин, каждая из которых в отдельности слабо влияет на результат измерения.

Во многих случаях влияние случайных погрешностей можно уменьшить путём выполнения многократных измерений с последующей статистической обработкой полученных результатов.

Класс точности средства измерений - обобщённая характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей. Класс точности выбирается из ряда (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) 10^n , где $n = 1; 0; -1; -2$ и т. д.

6.3.5. Поверка средств измерения (СИ)

В основе обеспечения единообразия средств измерений (СИ) лежит система передачи размера единицы измеряемой величины. Технической формой

надзора за единообразием СИ является государственная (ведомственная) поверка СИ, устанавливающая их метрологическую исправность.

Поверка - определение метрологическим органом погрешностей СИ и установление их пригодности к применению.

Пригодным к применению в течение определённого межповерочного интервала времени признают те СИ, поверка которых подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному СИ.

СИ подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам. Первичной поверке подвергаются СИ при выпуске из производства или ремонта, а также СИ, поступающие по импорту. Периодической поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении через определённые межповерочные интервалы, установленные с расчётом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками.

Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового СИ к рабочим СИ производится в определённом порядке, приведённом в поверочных схемах.

Поверочная схема — это утверждённый в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового СИ рабочим средствам.

Поверке подвергаются СИ, выпускаемые из производства и ремонта, получаемые из-за рубежа, а также находящиеся в эксплуатации и хранении. Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ установлены ГОСТ 8.513-84.

7. ЛЁТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Лётно-конструкторские испытания (ЛКИ) представляют собой начальный этап эксплуатации комплекса. ЛКИ включают в себя работы по подготовке изделия к запуску, осуществлению запуска, полёта и эксплуатации на орбите. При этом испытаниям при ЛКИ подвергаются все составные части РКК: ракета-носитель, разгонный блок, космический аппарат, средства транспортирования, технический комплекс, стартовый комплекс, комплект оборудования для хранения, комплекс средств измерения, сбора, обработки информации, комплекс управления. Это важный этап создания изделия, так как изделие начинает использоваться в реальных условиях, а это связано с повышенными рисками.

Лётные испытания являются приёмочными государственными испытаниями, проводятся под руководством государственной комиссии. ЛКИ — это совместные испытания заказчика комплекса и ведомств, в ведении которых находятся элементы инфраструктуры и обеспечения ресурсами. Таким образом, при проведении ЛКИ задействуются не только составные части комплекса, но и элементы наземной инфраструктуры, такие как энергосистема, водообеспечение, службы обеспечения безопасности воздушного и водного пространства.

К началу ЛКИ должны быть закончены все работы по подготовке наземной инфраструктуры, включая строительные работы, работы по обеспечению безопасности в районе старта и по трассе полёта вплоть до согласования используемых радиочастот. Должна быть обеспечена готовность всех составных частей наземного комплекса, включая все автономные и комплексные испытания составных частей.

Планирование ЛКИ проводится при выпуске программы лётных испытаний. Для каждого конкретного пуска выпускается полётное задание или задачи пуска.

7.1. Цель и задачи лётно-конструкторских испытаний

7.1.1. Лётно-конструкторские испытания

Целью ЛКИ является подтверждение характеристик комплекса и его составных частей, заданных в ТТЗ, в реальных условиях функционирования при подготовке изделия на земле и в условиях полёта, включая управление изделием с наземных станций и получение телеметрических данных о состоянии изделия.

Второй по важности задачей является отработка документации по эксплуатации изделия и наземных составляющих комплекса. Эксплуатационная документация определяет технологию работы с комплексом и может быть окончательно проверена только при штатной работе.

Кроме этого, в рамках ЛКИ решаются задачи отработки изделия и составных частей комплекса, которые невозможно осуществить при автономных и комплексных наземных испытаниях. Например, взаимодействие систем при старте РН, когда проходит большое количество событий за малый промежуток времени, обмен командами, вырабатываемыми при срабатывании различных наземных и бортовых агрегатов в реальных условиях.

Конечной целью ЛКИ является определение возможности принятия комплекса в эксплуатацию. По результатам ЛКИ принимается решение о передаче комплекса в эксплуатацию

7.1.2. Задачи ЛКИ

К задачам ЛКИ можно отнести:

- получение комплексных параметров функционирования РН, РБ, КА в условиях эксплуатации;
- отработка эксплуатационной документации и технологии подготовки изделия, включая отмену пуска;
- отработка действий личного состава;
- отработка ремонта и достаточность запасных частей и инструмента (ЗИП);
- подтверждение электромагнитной и радиочастотной совместимости комплекса;

- проведение метрологической экспертизы;
- проверка экологического воздействия на окружающую среду;
- отработка полётного задания;
- получение данных по надёжности и безопасности.

Задачи испытаний реально значительно шире и зависят от конструкции и состава конкретного изделия и условий его эксплуатации.

В части наземного сегмента, например при отработке технологии работ при несостоявшемся пуске, рассматриваются дополнительные работы по приведению систем в исходное состояния, что очень важно при проведении последующих работ.

С точки зрения безопасности необходима отработка действий персонала в нештатных ситуациях. При этом запрещается создание искусственных нештатных ситуаций, поэтому реальная реализация данных технологий может происходить только при появлении таких нештатных ситуаций.

При отработке действий персонала для уточнения технологических графиков работ необходимо получение временных показателей по длительности операций и в целом по приведению изделий в определённую степень готовности. В процессе работ производится проверка достаточности подготовки персонала и учебно-тренировочных средств, оценка достаточности технического обслуживания и регламентных работ.

В процессе ЛКИ производится набор статистики по характеристикам изделия. Это относится к получению опытных данных по статическим, динамическим, акустическим и аэродинамическим нагрузкам, действующим на РН при старте и полёте, сравнение их с расчётными; получению данных по температурным режимам работы элементов РН, а также фактических теплопритоков в реальной обстановке подготовки на стартовом комплексе (СК) и в полёте; оценке динамических и кинематических параметров, динамике движения, устойчивости и управляемости; проверке работоспособности и набору статистики по параметрам систем контроля заправки и расходования топлива; оценке фактических остатков топлива в баках.

Важной задачей является уточнение размеров полей падения и проведение дефектации отделяющихся частей, обнаруженных в полях падения.

При отработке систем управления важным является получение опытных данных по точности выведения на заданную орбиту, а по системам питания - проверка достаточности бюджета электроэнергии с учётом фактических потреблений; по системам ТЛМ - проверка достаточности и полноты приёма, регистрации, обработки и отображения измерительной информации при подготовке и пуске.

В итоге всё сводится к получению опытных данных по оценке показателей надёжности по подготовке и пуску.

7.2. Планирование лётно-конструкторских испытаний

7.2.1. Программа ЛКИ

Планирование ЛКИ определяется разработкой программы ЛКИ.

Программа ЛКИ является основным организующим документом по проведению испытаний и включает в себя следующие разделы:

- цели и задачи испытаний;
- перечень объёмов испытаний с указанием количества пусков и перечень целевых полезных нагрузок, предназначенных для них;
- порядок и последовательность подтверждения требований ТТЗ, что связано с последовательностью набора статистики и переходу к более сложными программам и алгоритмам;
- перечень программ и методик по оценке характеристик комплекса и его составных частей, а также оценке эксплуатационных показателей комплекса.

Дополнительно в состав ЛКИ может включаться программа научных экспериментов, позволяющая изучить дополнительные возможности создаваемого комплекса.

Программа ЛКИ должна включать перечень методик по составу критериев и их оценки для принятия решений о соответствии комплекса требованиям ТТЗ. В состав методик включается методика контроля надёжности, методика оценки воздействия на окружающую среду, методика по обеспечению безопасности,

методика контроля энергетических характеристик, методика оценки точности вывода, методика оценки работы алгоритмов системы управления. Полный их состав определяется особенностями комплекса и требованиями ТТЗ.

В целом программа должна включать всю необходимую информацию по проведению испытаний изделия, оценке результатов по подготовке изделия на земле и в полете, а также критерии принятия решения о передаче комплекса в эксплуатацию.

7.2.2. Этапность проведения АКИ

Этапами проведения ЛКИ могут быть начальный, завершающий и зачётный.

На начальном этапе проводится отработка эксплуатационной документации, выявляются ошибки и замечания к работе систем и технологии подготовки. Производится последовательная корректировка после каждого пуска. Обычно такая работа в основном заканчивается после трёх испытаний. На начальном этапе проводится метрологическая и эргономическая экспертизы, требующие доведение характеристик комплекса до заданных в ТТЗ.

На завершающем испытании проводится набор статистики по эксплуатации комплекса, проверяется готовность эксплуатационной документации к началу зачётных испытаний.

На зачётном этапе испытаний решается главная задача ЛКИ - это подтверждение возможности принятия комплекса в эксплуатацию.

Испытания проводятся под руководством государственной комиссии, составленной из представителей предприятий разработчиков изделий, представителей заказчика комплекса и представителей отраслевых институтов. На каждый пуск выпускается специальный документ, на основе программы ЛКИ, где определяются задачи пуска, программа работ для конкретного пуска. По результатам проведения каждого пуска выпускается отчёт с перечнем всех полученных замечаний и отказов. Для парирования полученных замечаний разрабатывается план мероприятий по доработке составных частей комплекса.

По результатам реализации принятых мероприятий выпускается отчёт с рекомендацией о возможности перехода к проведению следующего пуска.

7.2.3. Безопасность проведения испытаний

Учитывая повышенные риски проведения лётных испытаний, важным вопросом является обеспечение безопасности их проведения.

Безопасность проведения испытаний определяется следующим комплексом мероприятий:

- проведение анализа нештатных ситуаций;
- обучение действиям персонала в нештатных ситуациях;
- готовность всех необходимых средств парирования нештатных ситуаций.

Проведение данных мероприятий включается в задачи каждого пуска, и только при наличии отчёта по реализации принятых мероприятий даётся разрешение на начало проведения испытаний

7.2.4. Количество лётных изделий

Важным вопросом программы ЛКИ является определение количества пусков. Для выполнения задач подтверждения требований ТТЗ, которые проводятся в заданной последовательности, требуется по опыту от 3 до 5-ти пусков. Для определения общего количества испытаний используются оценки показателей надежности комплекса, на момент окончания лётных испытаний, а так же его готовности и решению целевых задач, при пуске.

Из-за высокой стоимости РКТ изготавливать большое количество изделий для лётных испытаний нецелесообразно. Это не позволяет определять эффективность ЛА только на основании статистической обработки результатов лётных испытаний и требует привлечения априорной информации, полученной на этапе наземной отработки. От полноты и достаточности этой информации зависит число лётных испытаний.

Подтверждаются показатели надёжности расчётно-экспериментальными методами, что требует разработки специальной методики расчёта с учётом особенностей данного комплекса и его составных частей. Учитывая, что для

подтверждения заданных ТТЗ показателей надёжности (а для современных изделий они задаются на уровне 0,995 для подготовки и 0,99 для полёта) необходимо несколько десятков пусков, их подтверждение проводится на этапе эксплуатации. В рамках проведения ЛКИ для подтверждения показателей надёжности задаются контрольные уровни показателей надёжности, которые можно экспериментально подтвердить в рамках ЛКИ. Например, вероятность выполнения задач полёта изделия задаётся на уровне 0,94 при доверительной вероятности 0,9, что требует проведения от 10 до 15 пусков. Обычно такое количество пусков обеспечивает решение всех задач ЛКИ.

7.2.5. Завершение ЛКИ

После завершения всех пусков выпускается отчёт госкомиссии о проведении ЛКИ и принимается решение о завершении ЛКИ и о передаче комплекса в эксплуатацию.

В отчёт включаются данные о результатах испытаний с оценкой:

- соответствия характеристик комплекса требованиям ТТЗ;
- полноты, достаточности и качества ЭД;
- возможности принятия комплекса в эксплуатацию.

7.3. Испытание изделий при подготовке на полигоне

В процессе проведения ЛКИ изделие подвергается ряду испытаний для подтверждения его качества и принятия решения о переходе к следующему этапу испытаний.

Данные испытания начинаются с транспортировки изделия на полигон и включают в себя замер перегрузок, возникающих на всех этапах транспортирования, и контроль состояния изделия, например внутренних давлений в герметичных ёмкостях и температур в отсеках изделия.



Рисунок 7.1 – Подготовка изделия «Квант» на техническом комплексе

Транспортировка изделий производится в транспортной конфигурации, исключающей критичные нагрузки на само изделие и его составные части. Например, КА транспортируются без солнечных батарей, а раскрываемые элементы (антенны) имеют дополнительные крепления или фиксаторы. Крупногабаритные изделия обычно транспортируются по частям.

После доставки изделия на технический комплекс производится сборка изделия, проведение испытаний по контролю состояния систем изделия с учётом вновь образованных связей после стыковки изделия и приведение его в полётную конфигурацию.

В состав испытаний входят:

- пневмоиспытания,
- электроиспытания.

Цель испытаний - проверка целостности изделия после транспортировки и хранения, проверка вновь образованных связей при сборке изделия из

транспортируемых частей. В ряде случаев производится повторение электроиспытаний после каждой последующей стыковки, например стыковка ступеней РН, стыковка космической головной части (КГЧ), стыковка РН с КГЧ.

После вывоза изделия на стартовый комплекс производится повторение испытаний систем изделия с учётом вновь образованных связей со стартовым комплексом. После проверки качества образованного комплекса производятся специальные испытания по подготовке к пуску.



Рисунок 7.2 – Вертикализация РКН



Рисунок 7.3 – Старт РКН

Производится проверка связи РКН с наземными системами приёма информации по радиочастотному каналу, а также проводится репетиция предстартовой подготовки задействованных наземных систем управления подготовкой изделия и бортовых систем управления.

Цель - проверка предстартовой подготовки и набора стартовой готовности. По результатам испытаний принимается решение о готовности проведения пуска.

8. СТЕНДОВАЯ БАЗА КОНСТРУКТОРСКИХ БЮРО И ОТРАСЛЕВЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ

При создании новой ракетно-космической техники (РКТ) в конструкторских бюро большое внимание уделяется её наземно-стендовой отработке (НСО). Это вызвано тем, что созданное изделие РКТ передаётся в опытную эксплуатацию (начиная с этапа ЛКИ) только при подтверждении заданных уровней надёжности, безопасности и соответствия тактико-техническим характеристикам. Это требует последовательной многоэтапной отработки конструкторской документации, прежде чем начать изготовление по ней лётных образцов изделий, поэтому в головных предприятиях отрасли к наземно-стендовой отработке относятся как к комплексу организационно-технических мероприятий по обеспечению эффективного экспериментального определения показателей качества и надёжности опытных образцов разрабатываемых изделий.

Методическое сопровождение наземной отработки строилось и развивалось на протяжении всего периода существования отрасли. В настоящее время руководящими документами, определяющими состав и назначение, а также место проведения наземной отработки объектов испытаний являются «Положение П-98», «Комплексная программа экспериментальной отработки», система отраслевых стандартов и стандартов предприятия, регламентирующих отношения между заводом-изготовителем и заказчиком, а также система ГОСТов и ОСТов по видам и нормам испытаний. Указанная система руководящих документов отражает опыт деятельности испытательной базы за весь период существования космической отрасли.

Методически процесс НСО представляет собой опытное определение технических свойств создаваемого изделия и доведение этих свойств путём введения конструкторских и технологических изменений до тех необходимых, которые обеспечивают изделию необходимые свойства.

Используемый при этом подход включает в себя с одной стороны, последовательность приближений свойств структурных элементов изделий к заданным, а с другой - постепенный переход от испытаний элементов низких уровней к отработке более сложных систем. При этом весь процесс отработки имеет три особенности, в той или иной мере присущие каждому промежуточному этапу отработки испытаний.

Во-первых, отработка носит исследовательский характер, т. е. в процессе испытаний выявляются негативные особенности поведения конструкции и уточняются пути их устранения.

Во-вторых, в процессе НСО происходит постепенное изменение конструкторской документации на изделие, её доработка с целью устранения дефектов, выявленных на испытываемых образцах.

В-третьих, испытания являются способом практического подтверждения и демонстрации свойств изделия для принятия окончательного решения о пригодности его к эксплуатации.

Наземная экспериментальная отработка является самой дорогой частью опытно-конструкторских работ и составляет не менее 60-70 % от общего объёма. Это ведёт к необходимости оптимизации планирования испытаний и совершенствования экспериментальной базы. Одним из важнейших условий достижения требуемого результата является внедрение математического моделирования как в сам эксперимент, так и в системы управления и измерения стендового оборудования.

На современном этапе реализация накопленного опыта, как методического, так и экспериментального, для проведения наземной отработки РКТ является необходимым условием, но не достаточным. Так, в современных условиях существенно сократился временной интервал, выделяемый на наземную отработку. Требования к качеству проведения и оценки результатов испытаний повысились из-за сокращения этапа лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ). В этих условиях требуется значительное увеличение эффективности методов и средств НСО за счёт минимизации времени и средств,

выделяемых на отработку, при сохранении уровня её качества, достигнутого за весь предшествующий период развития стендовой базы.

Для этого требуется решение следующих задач:

- разработка и внедрение автоматизированных информационно-измерительных и управляющих систем, позволяющих стендовой базе функционировать как системе технического диагностирования в реальном времени испытаний;

- создание единой информационной системы НСО, позволяющей объективно оценивать состояние отработки за требуемый интервал времени;

- адресная разработка и модернизация стендовой базы;

- реализация принципа разумной избыточности при создании стендов и оборудования при выполнении коммерческих заказов;

- разработка и внедрение расчётно-экспериментальных методов на исследовательском и отработочном этапах испытаний.

В настоящее время стендовая база отрасли оснащается автоматизированными информационно-измерительными и управляющими системами (ИИУС). Следует отметить, что модернизированные ИИУС имеют согласованный формат, обеспечивающий их совместимость с информационной базой всего жизненного цикла изделий. В качестве примера: при испытаниях универсального разгонного модуля (УРМ) по теме «Ангара» во время испытаний в единой информационной среде успешно функционировали система управления стендом (СУС), измерительная система, что позволило в реальном масштабе времени, по существу, диагностировать техническое состояние объекта испытаний.

Совершенствование экспериментальной базы (ЭБ) должно проводиться на комплексной основе, охватывая развитие как ЭБ КБ, так и ЭБ отрасли. Учитывая необходимость проведения испытаний сложных систем от простых элементов к сложным, концентрация усилий экспериментальной отработки в КБ должна быть сосредоточена на автономной отработке и комплексной отработке систем,

а комплексные испытания изделий в целом, подтверждающие требования ТТЗ должны проводиться на ЭБ отрасли.

На сегодняшний момент ЭБ отрасли и КБ включает более 900 единиц стендов и стендовых установок. ЭБ включает оборудование аэрогазодинамической, тепловакуумной, прочностной, двигательной, радиоэлектронной, электротехнической, оптической, материаловедческой техники. В качестве иллюстрации развития и модернизации стендовой базы в КБ «Салют» ГКНПЦ им. М. В. Хруничева рассмотрим распределение ресурсов, выделяемых испытательному направлению, на модернизацию стендовой базы в период с 1993 г. по 2000 г. Значительная часть выделенных ресурсов идёт на модернизацию стендов (около 60%) в части создания новых информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС), часть средств идёт на адресное создание новых стендов. Это позволяет ГКНПЦ им. М.В. Хруничева обоснованно и эффективно выполнять коммерческие заказы (на протяжении последнего десятилетия), связанные с выводением космических аппаратов различного назначения на заданные орбиты с использованием ракет-носителей (РН) «Протон», разгонных блоков (РБ) «Бриз» и РН «Рокот». Следует отметить, что модернизация стендовой базы в последнее десятилетие проводится в основном за счёт коммерческих заказов, поэтому повсеместно реализуется принцип разумной избыточности при разработке и создании ИИУС и стендового оборудования.

Традиционно ресурс времени, выделяемый на конкретный эксперимент, тратится следующим образом:

60-65% - подготовка к эксперименту;

5-10% - собственно эксперимент;

25-35% - анализ результатов испытаний.

Создание ИИУС как систем реального времени позволяет высвободить 15-20% выделяемого ресурса времени на анализ результатов испытаний и повысить их объективность, так как процессы регистрации параметров, проверки их на существенность и достоверность, а также отображения результатов и

документирования данных осуществляются без вмешательства человека. Поэтому доля средств, выделяемых на модернизацию ИИУС, ежегодно колеблется в пределах от 40 до 70% всех выделяемых ресурсов.

8.1. Структура НСО

В КБ НСО разделяется на два этапа - этап исследовательских испытаний и этап отработочных испытаний.

8.1.1. Исследовательские испытания

Испытания, проводимые на исследовательском этапе отработки, направлены на обоснование правильности проектно-конструкторских решений, принимаемых на этапах эскизного и технического проекта (например аэрогазодинамические и теплофизические испытания образцов материалов и элементов конструкций), что позволяет проектантам обоснованно выбрать внешние параметры создаваемого изделия.

8.1.2. Стенды для проведения исследовательских испытаний

Для перечисленных выше исследовательских испытаний используются газодинамические стенды, аэродинамические стенды и вакуумно-излучательные стенды.

8.1.2.1. Газодинамические стенды

Для проведения газодинамических испытаний моделей летательных аппаратов в высотных условиях с целью определения силовых нагрузок от воздействия атмосферы используются газодинамические стенды, представляющие собой барокамеры с вдувом горячего газа.

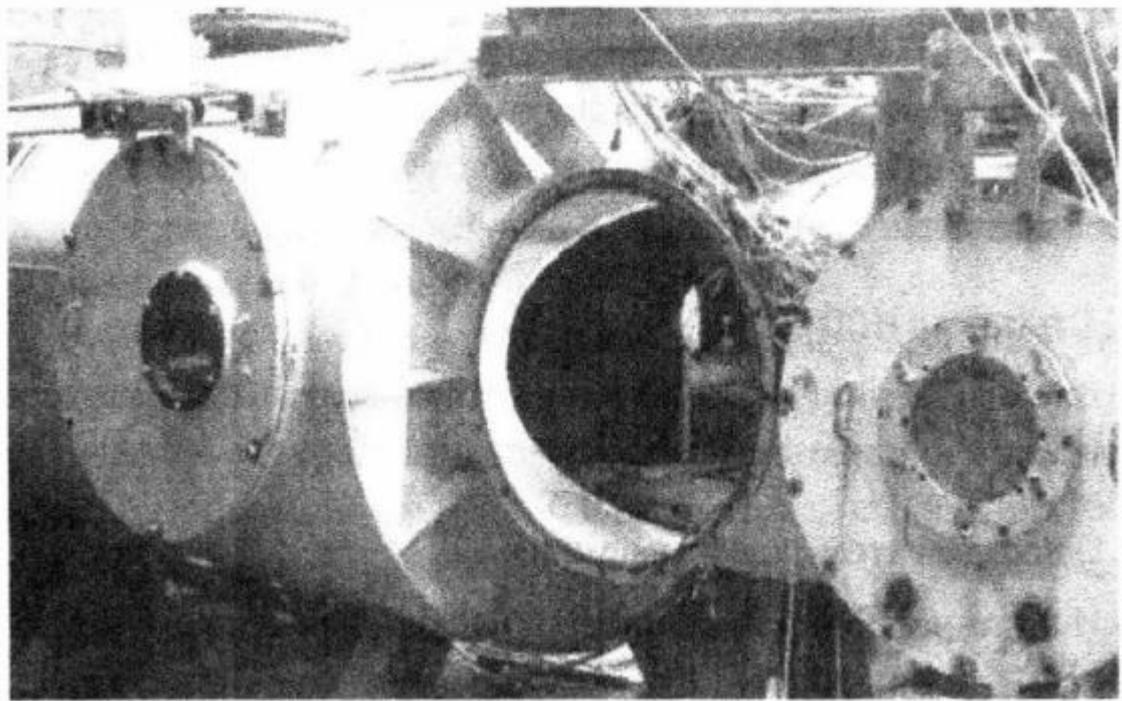


Рисунок 8.1 – Общий вид газодинамического стенда

8.1.2.2. Аэродинамические стенды

Для проведения испытаний весовых, дренажных, балансировочных моделей летательных аппаратов в трансзвуковой области чисел Маха используются аэродинамические стенды, которые являются трансзвуковой аэродинамической трубой кратковременного действия баллонного типа. Используемая модель устанавливается в рабочую часть аэродинамической трубы и обдувается трансзвуковым потоком воздуха с диапазоном чисел M 0,5–1,5. Значения скоростного напора - 0,105-0,080 МПа. Стенд представляет собой вдувное устройство, ресивер и выхлопной диффузор. Сжатый воздух содержится в баллонной рампе и предварительно подогревается до нужной температуры.

Для проведения испытаний весовых и дренажных моделей летательных аппаратов в сверхзвуковой области чисел Маха 2,0; 3,0; 4,0 используются стенды, которые являются сверхзвуковой аэродинамической трубой кратковременного действия также баллонного типа. Значения скоростного напора - 0,08–0,11 МПа. Расход сжатого воздуха на одно испытание составляет от 1000 до 2500 м³.

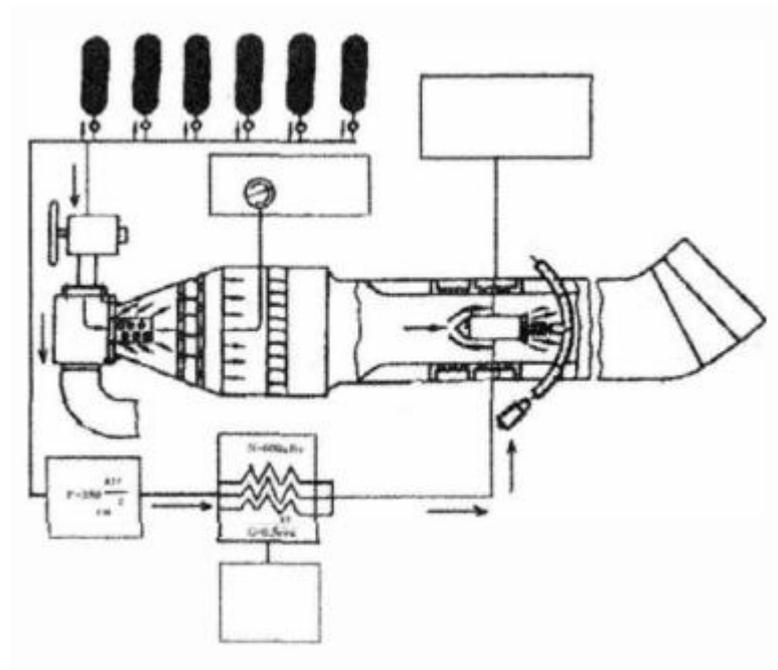


Рисунок 8.2 – Схема стенда для аэрогазодинамических испытаний

8.1.2.3. Вакуумно-излучательные стенды

Теплофизические исследования моделей и образцов теплозащиты элементов конструкции проводятся с использованием вакуумно-излучательных стендов, которые предназначены для тепловых испытаний различных теплозащитных материалов, датчиков тепловых потоков, элементов конструкций. Тепловые испытания осуществляются путём нагрева объекта испытаний при атмосферном давлении и в условиях вакуума. Стенд представляет собой цилиндрическую стальную камеру с откидной крышкой, внутри размещается нагреватель и ОИ.

Источником лучистой энергии на стенде служит графитовая пластина с рабочей площадкой размером 0,24x0,12 м, на которую через индукционный регулятор подаётся ток. Излучатель стенда заключён в систему водоохлаждаемых экранов. При этом достигается диапазон изменения давления в камере от 736 до 1 мм рт.ст. Величина лучистого потока в диапазоне от 0 до 500 кВт/м², при этом температура графитового нагревателя - до 2000 °С, а диапазон изменения теплового потока - $5 \cdot 10^3$ - $500 \cdot 10^3$ кВт/м².

Для проведения тепловых испытаний в условиях вакуума негорючих образцов теплоизоляции типа ЭВТИ, АТМ и др. материалов, а также различных элементов конструкций используется вакуумно-излучательный стенд. Стенд представляет собой горизонтальную вакуумную камеру. Вакуум в камере создаётся вакуумными насосами. Система захлаживания использует жидкий азот, который подаётся в азотный экран камеры. Давление в камере до $6,65 \cdot 10^{-3}$ Па.

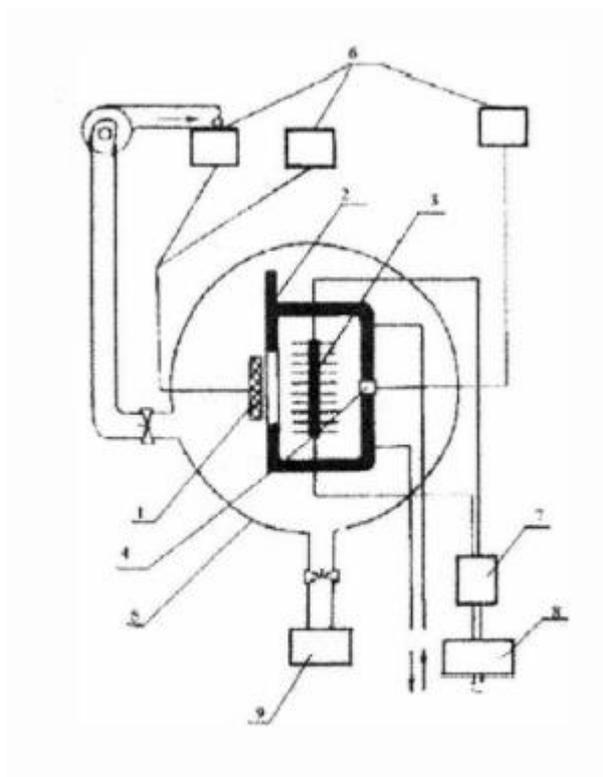


Рисунок 8.3 – Принципиальная схема стенда ВИС-1

1 - объект испытания; 2 - водоохлаждаемый экран; 3 - графитовый излучатель; 4 - датчик лучистого потока; 5 - камера вакуумная; 6 - система измерения АСУСОДГДФ; 7 - трансформатор ОСУ-80; 8 - индукционный регулятор напряжения типа МА-195; 9 - вакуумный насос

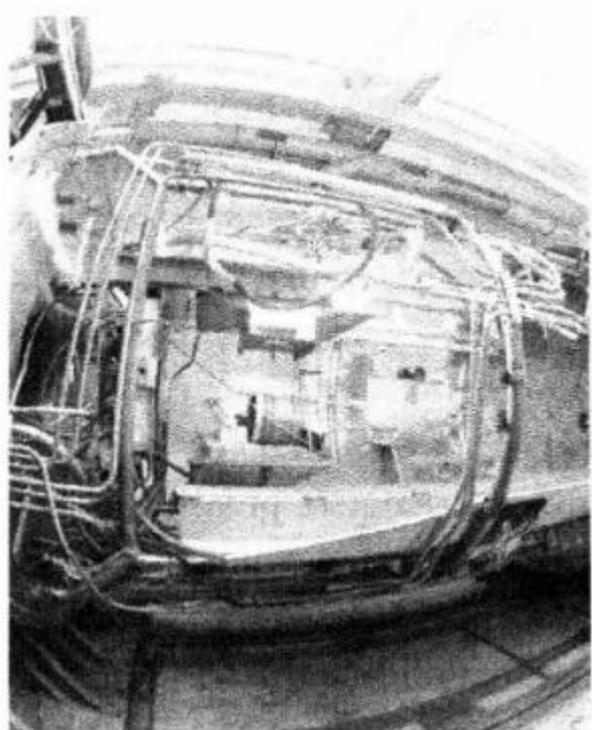


Рисунок 8.4 – Общий вид стенда ВИС-2

Тепловой лучистый поток создаётся с помощью нескольких нагревательных блоков, в каждом из которых в шахматном порядке установлены лампы типа КГО 220–2500. Диапазон изменения тепловых потоков от 0 до 250 кВт/м². Температура нагрева поверхности объекта испытаний (ОИ) до 1100 °С. Температура охлаждения поверхности объекта испытаний (ОИ) до -120 °С.

8.2. Испытания на этапе рабочего проектирования

На этапе рабочего проектирования обеспечивается проведение наземных стендовых испытаний. Они подразделяются на автономные и комплексные испытания, которые проводятся на макетах узлов и изделий. Автономные испытания, как правило, проводятся на стендовой базе головного КБ отрасли и носят этапный характер, а именно, предварительный, доводочный и приёмочный этапы. Условием перехода к следующему этапу являются положительные результаты испытаний, полученные на предыдущем этапе, т. е. реализуется принцип от простого к сложному. При этом последовательность нагружений с учётом мер безопасности воспроизводится в соответствии с жизненным циклом изделий. Стендовая база головного КБ должна иметь оборудование с

соответствующим методическим обеспечением, позволяющее проводить отработку с привлечением отраслевых и межотраслевых испытательных баз любых образцов ракетно-космической техники.

Так, например, стендовая база КБ «Салют» на сегодняшний день имеет 81 стендовую установку для проведения исследовательских испытаний, а также для автономной отработки агрегатов, механизмов, узлов и т.д. При этом могут быть реализованы все виды нагружений на объект испытаний - функциональные, климатические, вибродинамические, термовакуумные и др. Общее количество экспериментально-испытательных средств, входящих в стендовую базу КБ «Салют», составляет 180 единиц.

При проведении автономных испытаний проводятся последовательные нагружения различными видами механических нагрузок, включая статические нагрузки, линейные перегрузки, вибро- и ударные нагрузки. Для реализации указанных нагрузок используются стендовые установки, включая силовозбудители, центрифуги, ударные стенды, вибраторы.

8.2.1. Стенды для испытания на механические нагрузки агрегатов и узлов

8.2.1.1. Ударные установки

Для испытаний на ударные нагрузки могут использоваться установки ударные типа StT-500 и СУ-1 М, предназначенные для испытаний узлов и механизмов и имитирующие воздействие нагрузок при транспортировании изделия, а также воздействие одиночных ударных импульсов.

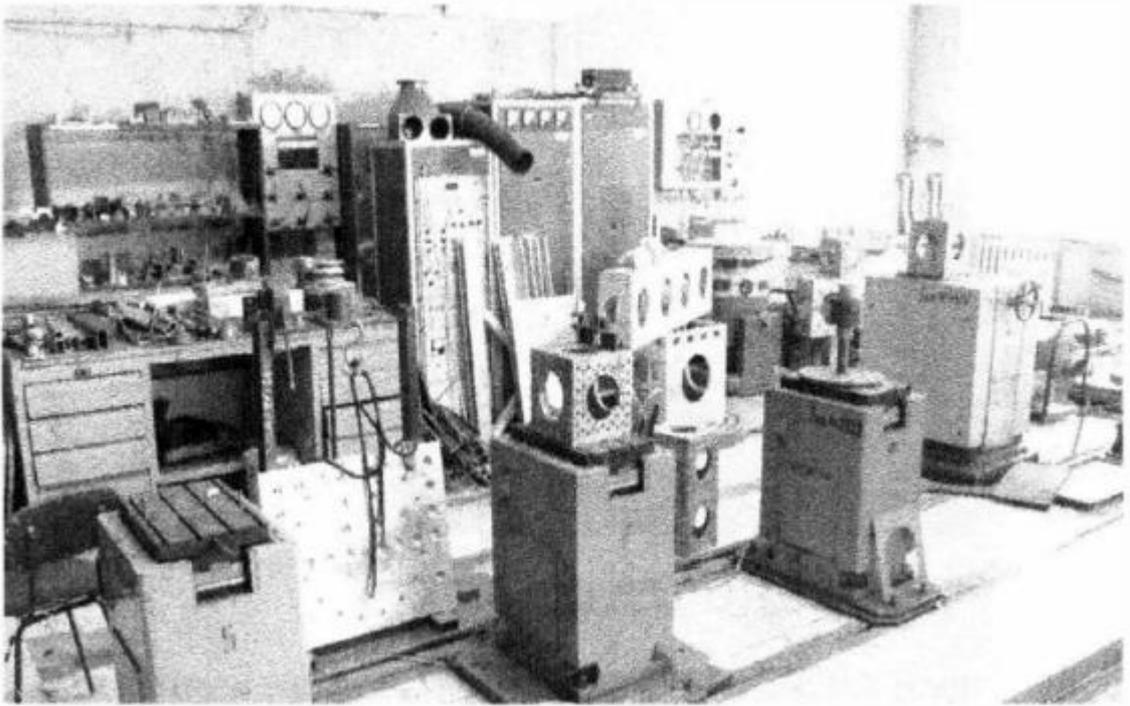


Рисунок 8.5 – Общий вид установок СУ-1 М и StT-500

Массовые и габаритные параметры механизмов и узлов, испытываемых на таких установках, не должны превышать размер 2,0x1,1x0,95 м. Максимальная амплитуда ударного ускорения, реализуемая на установках такого типа достигает 5000 м/с, а максимальная статическая нагрузка на стол - 1962 Н при длительность ударного импульса - 0,5-10 мс.

8.2.1.2. Стенд центробежных перегрузок

Для создания постоянно действующей перегрузки на объект испытаний может использоваться стенд центробежных перегрузок СЦП100-100 М, который предназначен для испытаний механизмов и узлов на стойкость к воздействию линейных перегрузок. Стенд может использоваться для испытаний, имитирующих ударное воздействие большой длительности.

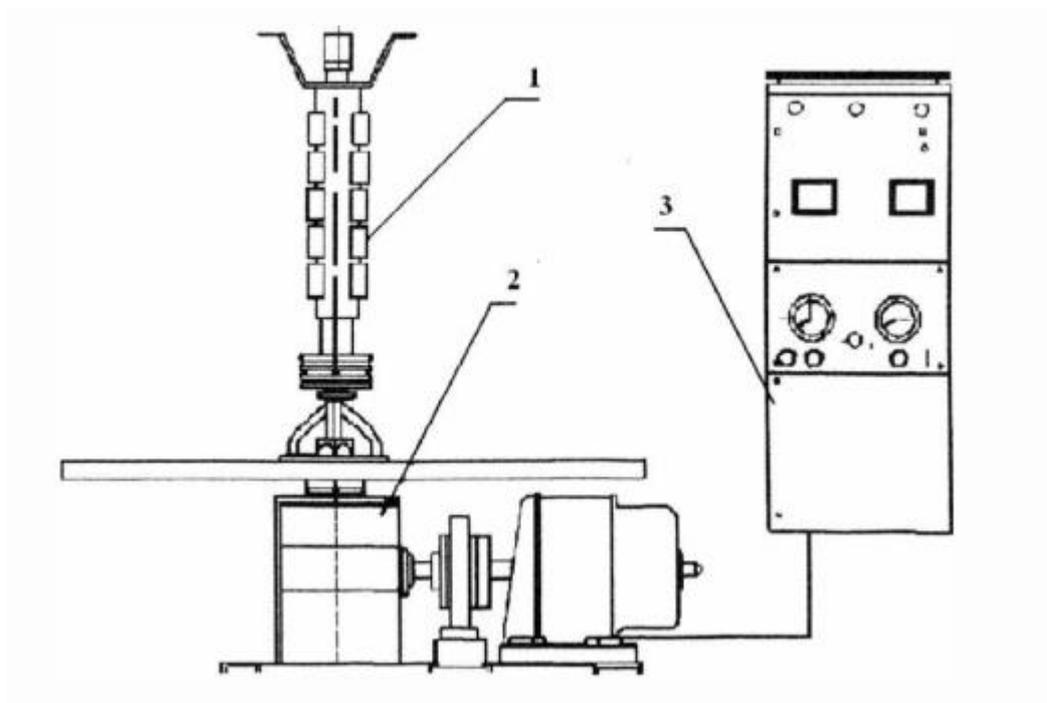


Рисунок 8.6 – Схема стенда СЦП100-100 М

В состав стенда входят:

- 1 - центрифуга;
- 2 - двухмашинный агрегат;
- 3 - пульт управления.

Максимальная допустимая масса нагрузки на платформе стенда - 100 кг; размеры объекта испытаний - 1,9x0,47x0,4 м; максимальное линейное ускорение - 180 м/с².

8.2.1.3. Стенд вертикальной нагрузки

Стенд предназначен для нагружения объектов испытаний статическими нагрузками до 25 т в вертикальном направлении при перемещениях до 0,5 м.

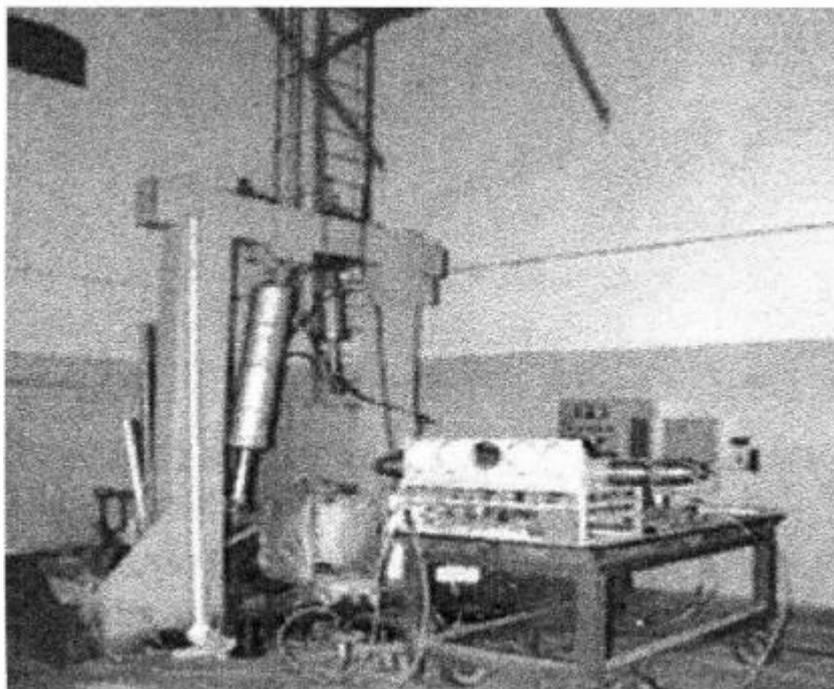


Рисунок 8.7 – Общий вид стенда

Стенд имеет габаритные размеры 3,5x2,4x0,5 м; на стенде используются пневмогидравлические силовые цилиндры, обеспечивающие максимальную нагрузку на стенде 245250 Н.

8.2.1.4. Установка вибрационная электродинамическая

Для динамических испытаний узлов и механизмов в условиях большой нагрузки предназначена установка вибрационная электродинамическая V954 МКП «Линг динамик».

Установка обеспечивает максимальную толкающую силу 40044 Н и максимальную статическую нагрузку на стол 5336,64 Н.

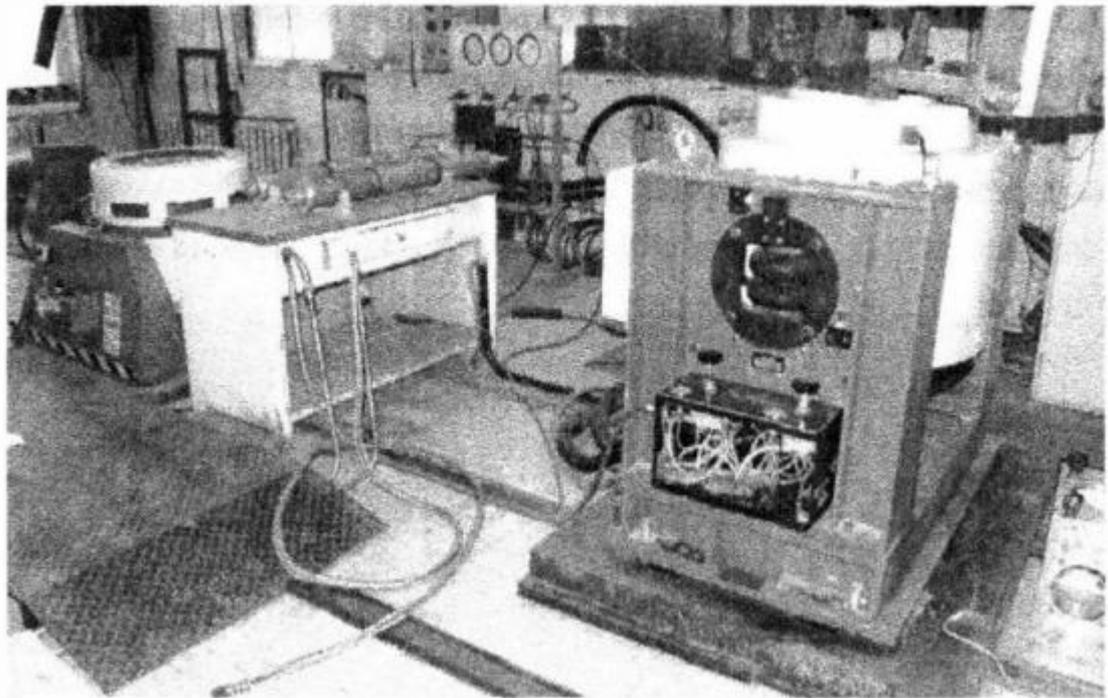


Рисунок 8.8 – Общий вид виброустановок V954 МКII и V850T-SPA-K

Такие стенды предназначены для испытаний объектов с габаритными размерами - 2,1x2,1x2,1 м. При этом стендом возбуждается максимальное виброускорение без нагрузки 1500 м/с в номинальном диапазоне частот 5–3500 Гц.

Установка обеспечивает задание режимов и проведение вибропрочностных, транспортных и частотных испытаний.

8.2.2. Стенды для климатических испытаний

Испытания на воздействие климатических факторов обеспечиваются комплексным воздействием пониженным и повышенным атмосферным давлением при заданной температуре внешней среды или изменяемой температуре внешней среды, повышенной и пониженной влажности и солнечным излучением. Для испытаний используются климатические камеры, вакуумные камеры и термобароклавы.

8.2.2.1. Климатические термокамеры

Камера ФОЙТРОН используется при проведении климатических и ресурсных испытаний различных агрегатов. В состав камеры входит:

теплоизолированный корпус, холодильная компрессорная, система нагрева, система водоснабжения, система регулирования влажности, а также система управления и измерения. Камера имеет внутренние размеры 0,6x0,6x0,7 м и обеспечивает диапазон искусственного климата с относительной влажностью 10–96% при температуре 10–90 °С. Диапазон температур испытаний от -30 °С до +90 °С. При проведении климатических и ресурсных испытаний различных агрегатов с большими габаритами используется камера КТК-3000 с внутренними размерами камеры 1,5x1,2x1,6 м.

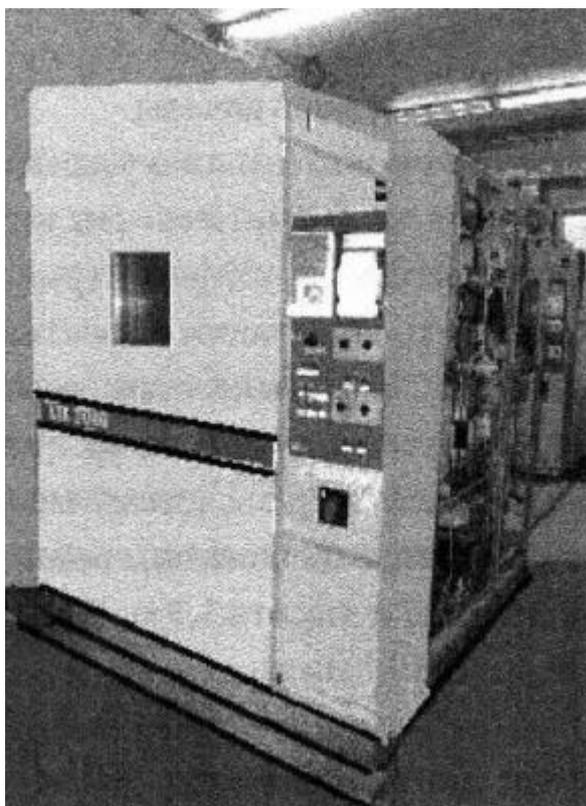


Рисунок 8.9 – Общий вид КТК-3000

Проведение климатических и ресурсных испытаний с повышенными температурами обеспечивает климатическая камера Н200WC. Камера имеет полезную ёмкость 2 м³ и обеспечивает диапазон температур от -10 °С до +180 °С, диапазон влажности при температуре от +5 °С до +95 °С - 10–98%, минимальная точка росы - +2 °С.

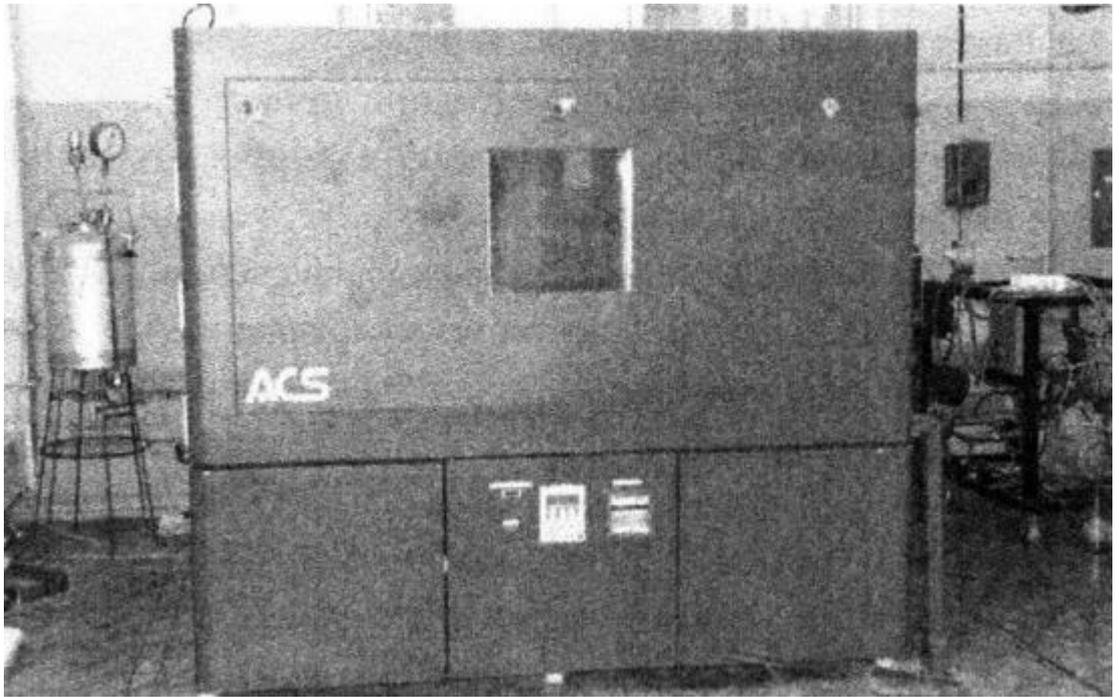


Рисунок 8.10 – Общий вид климатической камеры H200WC

8.2.2.2. Вакуумные камеры

Для проведения вакуумных, тепловакуумных испытаний, испытаний на герметичность узлов и агрегатов предназначена вакуумная камера СМ-483. В вакуумной камере можно проводить испытания объектов средних размеров: разъёмы, агрегаты ПГС, крышки, механизмы, толкатели и т.п.

В состав системы входят вертикальный цилиндрический герметичный корпус, система вакуумирования, система энергетика, система водоснабжения, система измерения, размеры камеры: диаметр 0,9 м и высота 1,3 м. Камера обеспечивает минимальное давление 1×10^{-5} мм рт.ст.

Для испытания мелких объектов: электропневмоприводов, БШК, МВК, сильфонов, образцов соединений и т. п. предназначена вакуумная камера В-26 А с габаритными размерами 2,1x1,6x1,75 м и внутренними размерами 0,5 м (диаметр) и 0,5 м (длина).

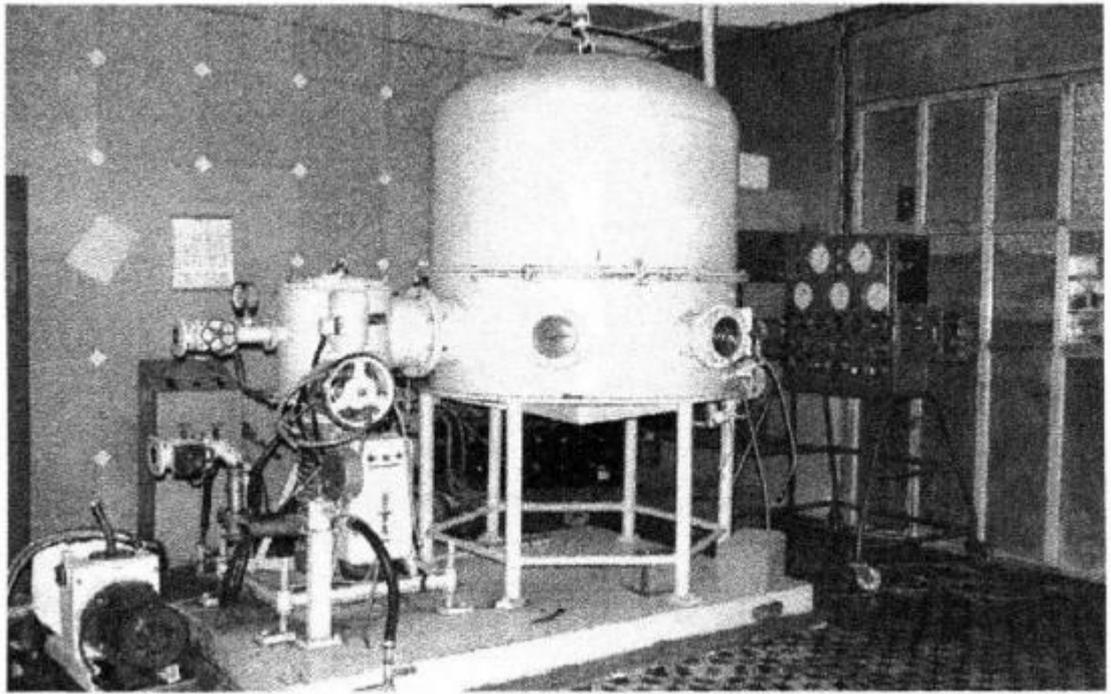


Рисунок 8.11 – Общий вид SM-483

Для проведения вакуумных испытаний, испытаний на герметичность узлов и агрегатов средних размеров (разъёмы, агрегаты ПГС, крышки, механизмы, толкатели и т. п.) предназначена вакуумная камера УВ-4 М. В состав камеры входит горизонтальный цилиндрический герметичный корпус, система вакуумирования, система энергетики, система водоснабжения и система измерения. Габаритные размеры камеры - 4,9х4,0х2,2 м, а создаваемое минимальное давление - $1,33 \times 10^{-3}$ Па.

8.2.2.3. Термобароклав

При проведении температурных и ресурсных испытаний при действии высоких давлений различных агрегатов используется термобароклав STBV-1000.

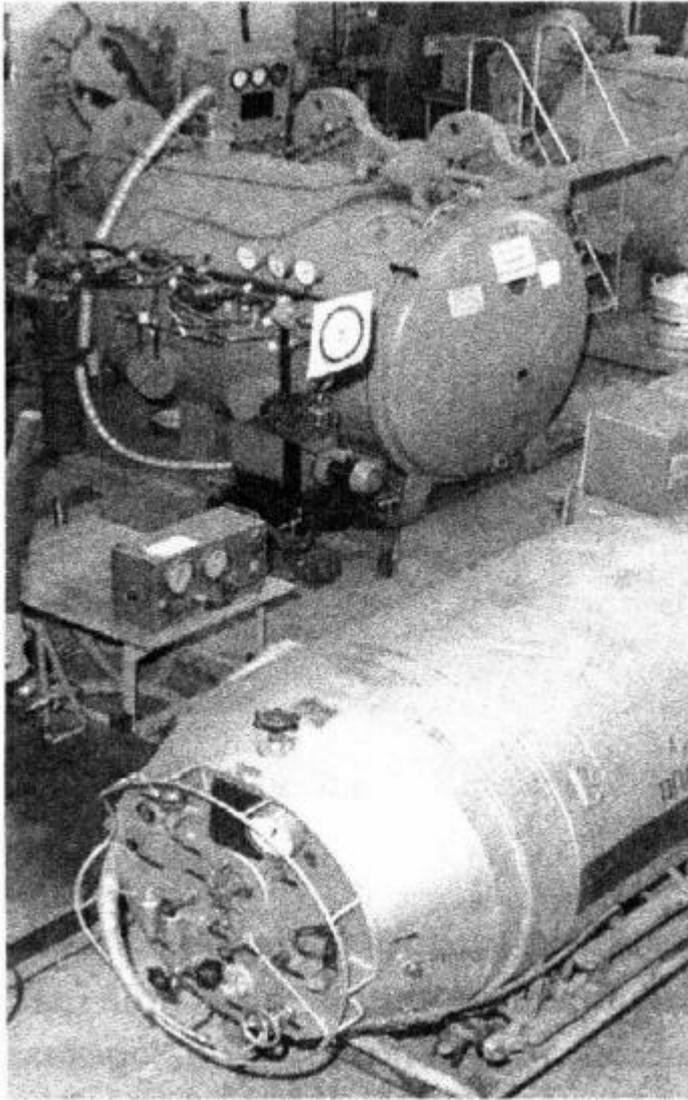


Рисунок 8.12 – Общий вид УВ-4 М

В состав термобароклава входит теплоизолированный корпус, холодильная компрессорная система, система водоснабжения, а также система управления и измерения. Габаритные размеры термобароклава - 5,3х5,8х2,3 м, а внутренние размеры камеры - 1,1х1,1х0,9 м, диапазон создаваемых температур от -50 °С до +200 °С.



Рисунок 8.13 – Общий вид термобароклава

8.2.3. Специальные стенды для отработки агрегатов

8.2.3.1. Стенды для испытания агрегатов управления

Для статических и динамических испытаний электрогидравлических сервоприводов предназначен нагрузочный стенд для испытания рулевых приводов.

В состав стенда, кроме нагрузочного стенда, входит станция насосная жидкостная СНЖ-001. Габаритные размеры стенда - 2,9x2,0x1,4 м, статическая нагрузка на объект испытаний - $70632 \pm 2452,5$ Н при инерционной массе 38,85 Н·с²/см и собственной частоте резонанса звена «шток-масса» - 7,9-8,1 Гц, установочный размер электрогидравлического сервопривода (ЭГС) при среднем положении штока 870 ± 10 мм.

Для статических и динамических испытаний электрогидравлических сервоприводов (ЭГС) меньших размеров со статической нагрузкой 39240 ± 100 Н и инерционной массой 4,905 Н·с²/см используется стенд для испытаний сервоприводов.



Рисунок 8.14 – Общий вид стенда испытаний сервоприводов

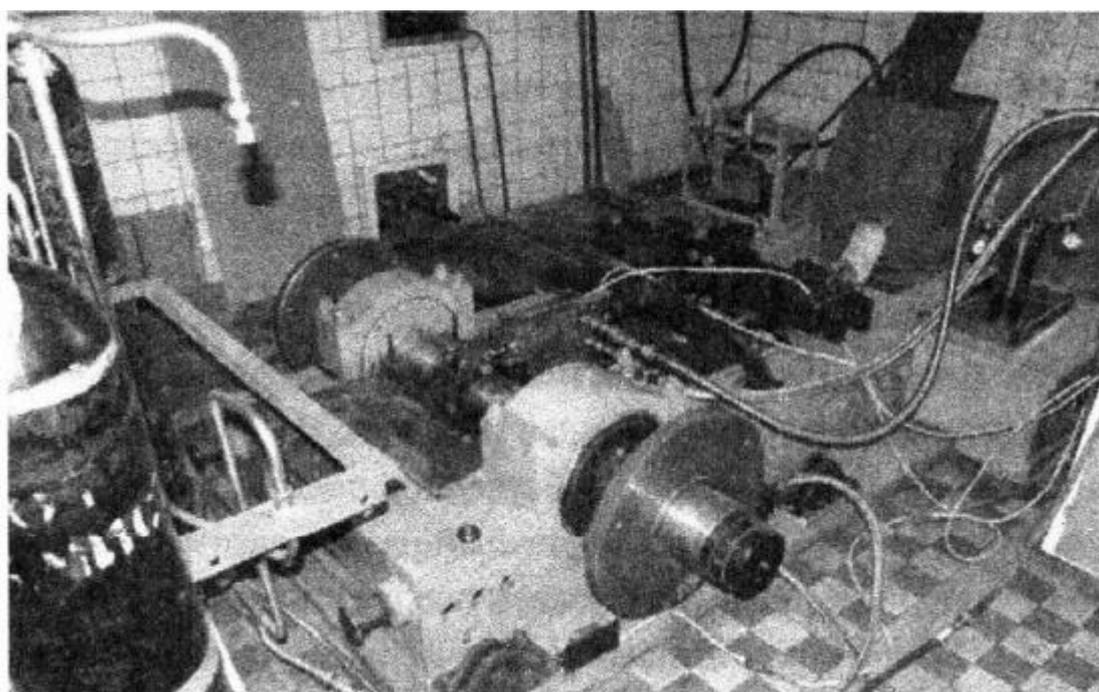


Рисунок 8.15 – Стенд для испытаний сервоприводов

Для проведения испытаний ЭГС и гидроагрегатов при пониженных и повышенных температурах ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$) служит стенд испытательный гидравлический.

Стенд состоит из гидравлической системы и насосной станции, работающей на жидкости СНЖ-001-01, в диапазоне температур рабочей среды от -50 до +100 °С при давлении рабочей жидкости в линии подачи до 21 МПа.

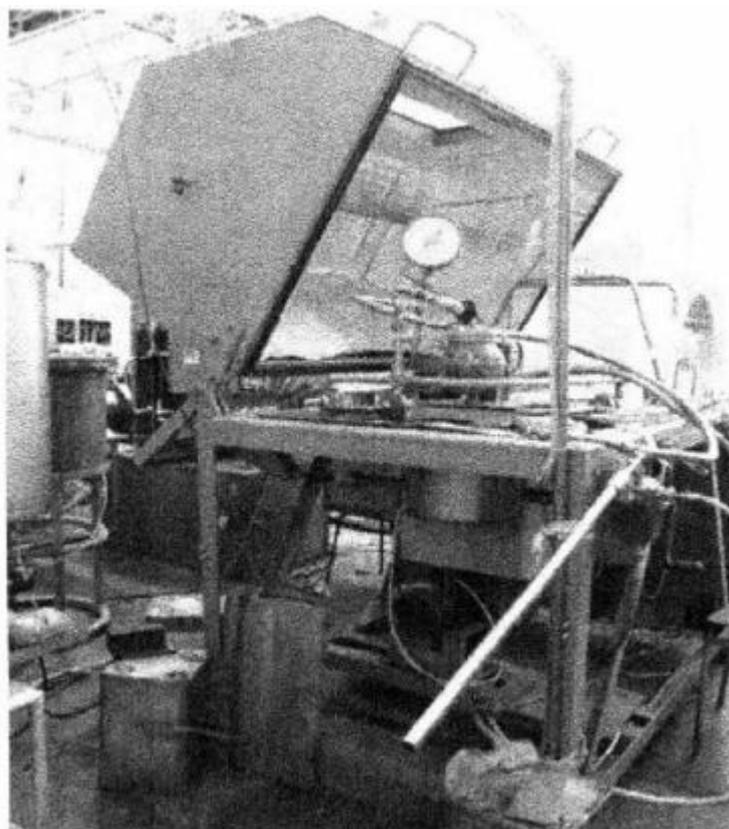


Рисунок 8.16 – Общий вид стенда для климатических испытаний агрегатов, включая ЭГС

8.2.3.2. Стенд обеспечения теплового режима

Для проведения автономных тепловых испытаний моделей теплообменников агрегатов изделий типа панелей НХР, а также комплексных тепловых испытаний моделей предназначен стенд ГС19.57.00.

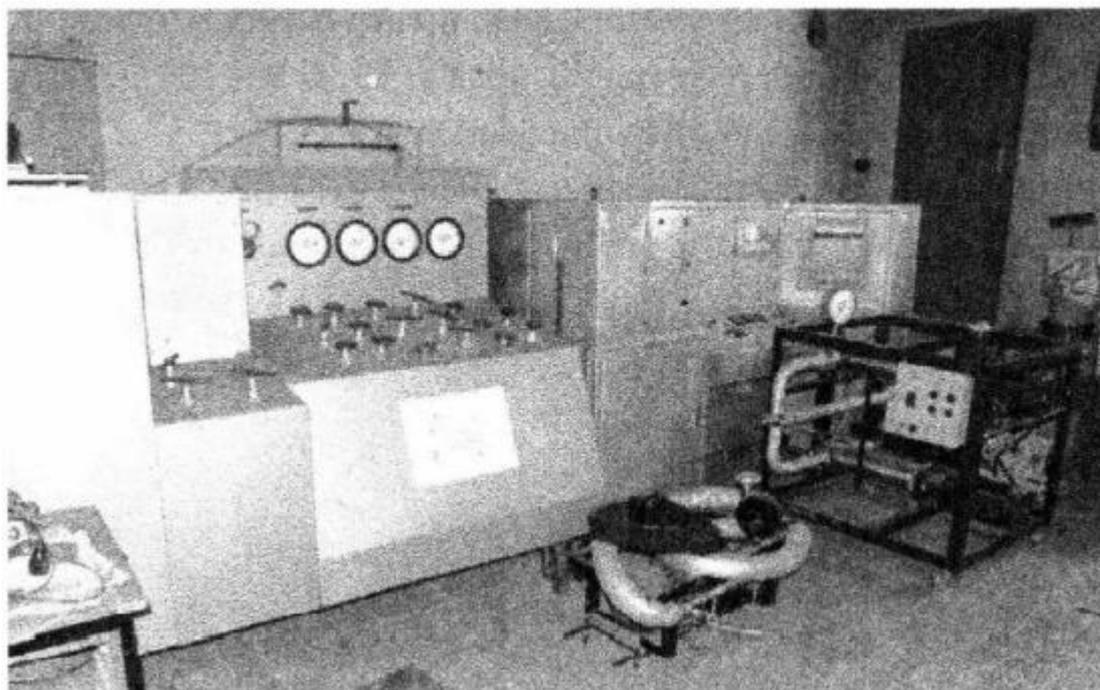


Рисунок 8.17 – Общий вид стенда обеспечения теплового режима

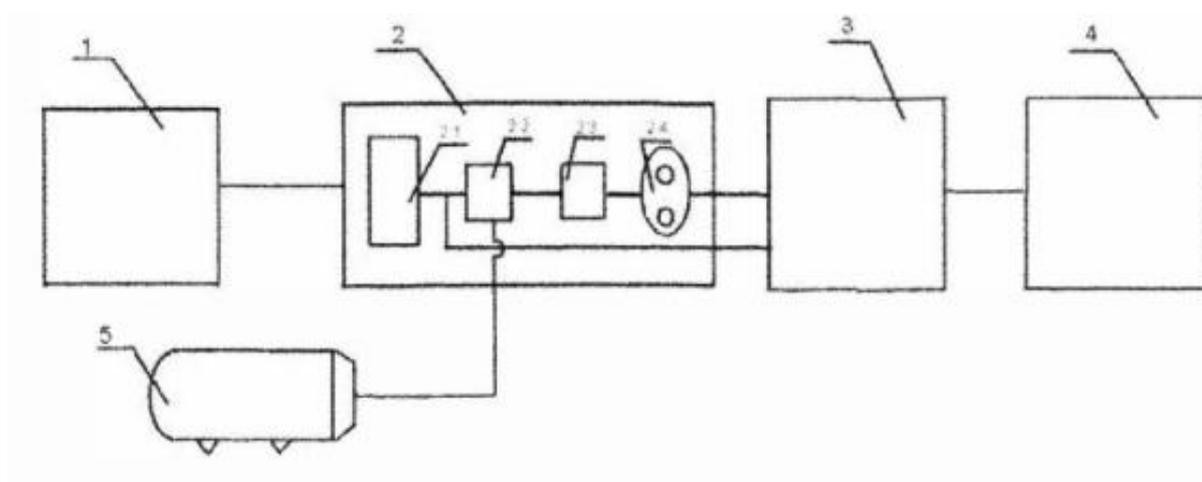


Рисунок 8.18 – Функциональная структурная схема стенда обеспечения теплового режима: 1 - пульт управления холодильно-нагревательного агрегата (ХНА) ЭС37.233.00; 2 - ХНА ГС. 19.57.00; 3 - объект испытаний; 4 - автоматизированная измерительная стендовая система; 5 - цистерна с жидким азотом ТРЖК-2У

Стенд является передвижной установкой. Основной частью стенда является ХНА, в состав которого входят бак с теплоносителем, холодильник, нагреватель, насосная станция.

Пульт управления обеспечивает работу ХНА, измерение параметров теплоносителя и автоматическое поддержание температуры теплоносителя в заданных параметрах. Стенд обеспечивает расход теплоносителя не более $3,5 \times 10^1$ м³/с при тепловой нагрузке не более 5 кВт. Система измерения обеспечивает измерение и запись температуры и давления теплоносителя в изделии, а также температуры в различных точках изделия.

8.3. Стендовая база для проведения комплексных испытаний

Стендовая база головного КБ должна обеспечивать проведение комплексных статических и динамических испытаний, комплексных испытаний пневмогидравлической системы, специальных испытаний на функционирование ряда систем, включая системы и средства разделения, а также испытания на раскрытие солнечных батарей.

Для наземной стендовой отработки на прочность изделий РКТ предназначен испытательный комплекс для проведения следующих испытаний:

- статических;
- динамических: модальных (частотных), транспортных, вибропрочностных, ударных;
- усталостных (циклических);
- комплексных с имитацией системы нагрузок с проверкой функционирования штатных механизмов изделий.

Для проведения комплексных испытаний пневмогидравлических систем стендовая база оснащена проливочным комплексным стендом, позволяющим решать конструктивные и технологические задачи отработки на натуральных газах и имитаторах компонентов топлива. Для испытаний герметичных ёмкостей и корпусов стендовая база должна быть оснащена системой стендов для отработки элементов и агрегатов различных по назначению макросистем, а также набором вакуумных камер (объёмом от 0,5 м³ до 800 м³), что позволяет проверять изделия на суммарную герметичность и проводить термовакуумные нагружения отдельных его конструкций.

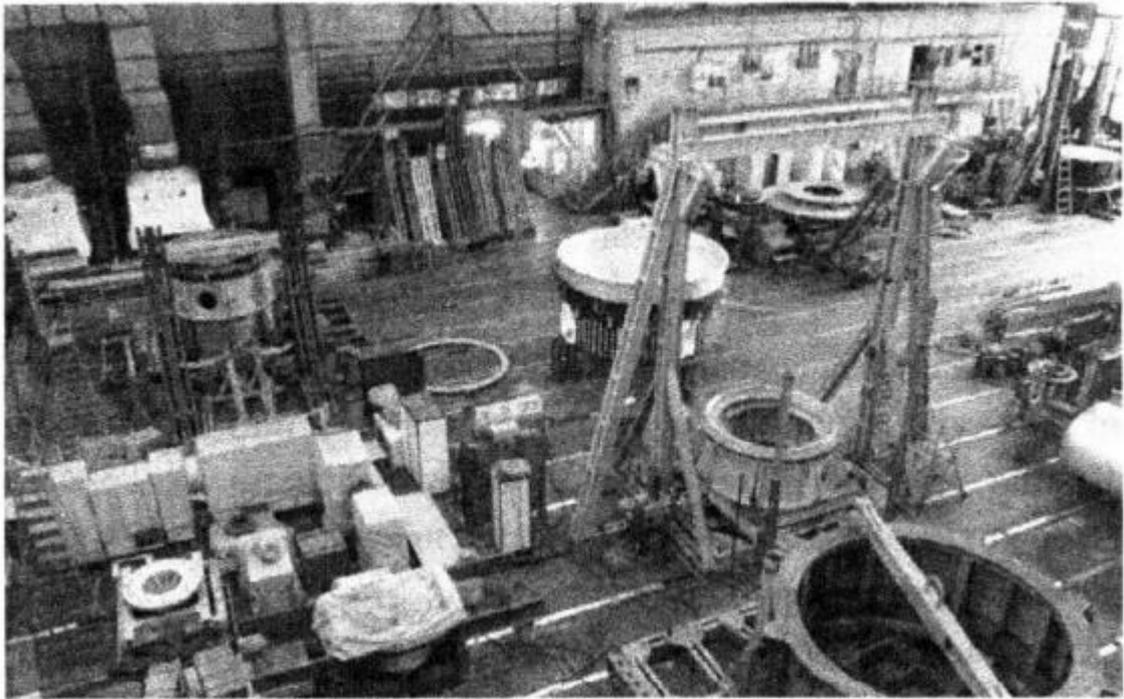


Рисунок 8.19 – Общий вид зала для испытаний на статическую и динамическую прочность

8.3.1. Комплекс для проведения статических испытаний изделия

Участок комплексных статических испытаний предназначен для статических прочностных испытаний стеновых изделий и их конструктивных элементов при наземной стеновой отработке изделий РКТ. В состав комплекса входит участок комплексных статических испытаний, включающий статический (испытательный) зал с силовым полом и силовым потолком, комплект гидравлических силовозбудителей, силовые стойки и рамы силовые плиты, силовые колонны, водяные и масляные нагружающие системы и системы измерения.

Статический зал и имеющееся оборудование позволяют проводить прочностные испытания изделий диаметром 4,5 м и длиной до 14 м. Силовой потолок позволяет через силовые мосты прикладывать усилия сосредоточенно или распределённо до 90 Тс с замыканием их на силовом полу.

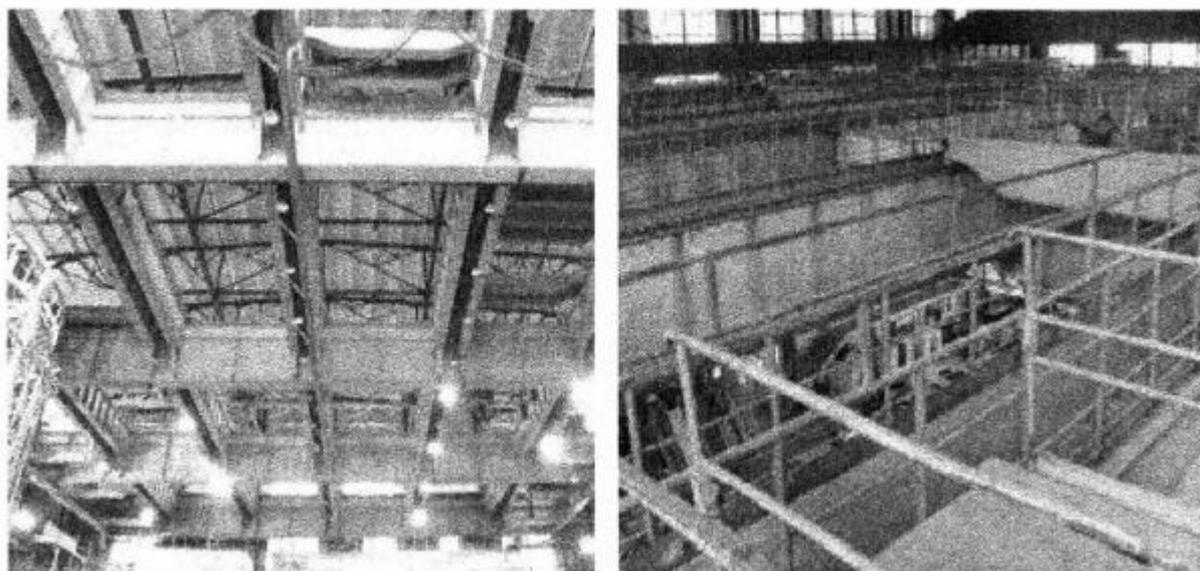


Рисунок 8.20 – Общий вид силовых потолков и стен

Зал имеет длину 45,0 м и ширину 36,0 м, высота силового потолка до 14,0 м, силовой пол с нагрузкой 20 Тс на 1 п.м, силовой потолок с ячейками 6,0x12,0 м, две силовые колоннады, состоящие из пяти колонн (H=8 м). Комплекс оборудования системы измерения предназначен для регистрации, анализа, обработки, выдачи информации в процессе статических испытаний от заданных нагрузок на изделие или его конструктивные элементы и первичных средств измерения (индикаторов, тензодатчиков, тензорезисторов, датчиков перемещений и др.).

8.3.2. Участок комплексных динамических испытаний

Участок комплексных динамических испытаний предназначен для наземной стендовой отработки изделий РКТ на динамическую прочность.

На участке комплексных динамических испытаний проводятся испытания стендовых изделий и их элементов на вибрацию, ударную прочность, кратковременные динамические нагрузки, модальные испытания, а также испытания на усталостную прочность.

В состав участка входят:

— электродинамический комплекс на базе вибраторов V980, V954LS;

— электрогидравлический комплекс на базе виброустановок PL160N, PLz100P, PL63K;

— измерительно-регистрирующий и анализирующий комплекс;

— централизованная система охлаждения виброустановок.

8.3.2.1. Электродинамические комплексы

Электродинамический комплекс на базе вибратора V980 с усилителями мощности МРА 64 и МРА 96 изображены на рисунке. Комплекс предназначен для динамических испытаний в диапазоне частот от 5 до 2000 Гц с толкающим усилием 100000 Н при гармоническом нагружении и 89000 Н при нагружении случайной вибрацией.

Технические характеристики вибратора V980 следующие: максимальная статическая нагрузка на пустой стол - 1363 кг; максимальная нагрузка на разгрузочный стол 3500 кг; масса вибратора составляет 8605 кг; а габариты - 2,175x1,118x1,565 м.

Электродинамический комплекс на базе вибратора V954LS с МРА64 изображён на рисунке.

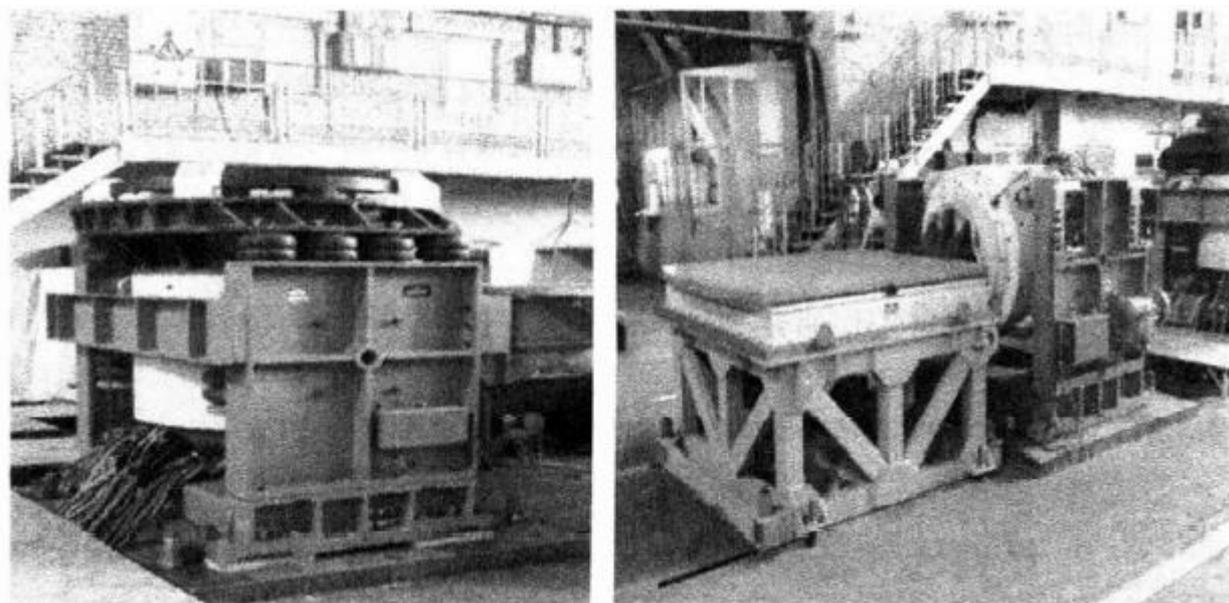


Рисунок 8.21– Общий вид установки V980MPA64 и вибростенда V980 МРА96

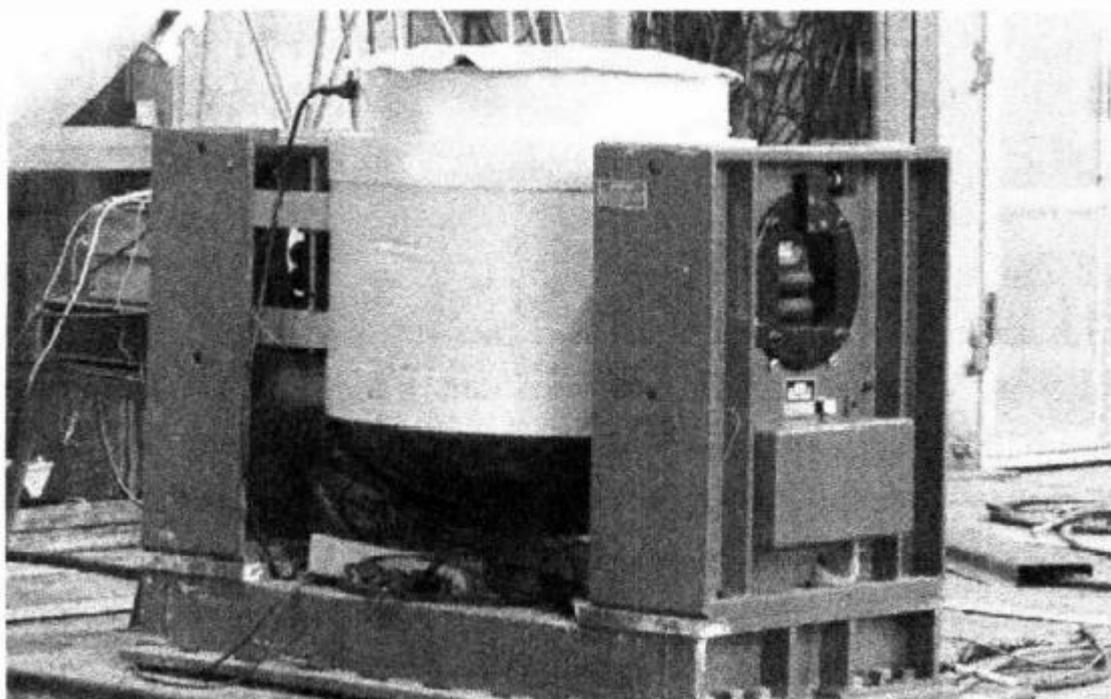


Рисунок 8.22 – Общий вид вибростенда V954LS-MPA64

Вибратор V954LS-MPA64 предназначен для динамических испытаний в диапазоне частот от 5 до 3000 Гц с толкающим усилием 40000 Н при гармоническом нагружении и 32000 Н при нагружении случайной вибрацией. Технические характеристики вибратора: максимальная статическая нагрузка на пустой стол - 544 кг; максимальная нагрузка на разгрузочный стол составляет 910 кг; масса вибратора - 2260 кг; габариты составляют 1,376x0,775x1,212 м.

8.3.2.2. Разгрузочные приспособления

Разгрузочные приспособления предназначены для установки объектов испытаний и разгрузки их от реакций опор при приложении нагрузок к объекту испытаний и представляют собой различные скользящие столы, вертикальные и горизонтальные подвижные платформы.

Горизонтальный скользящий стол

Горизонтальный скользящий стол НВТ-1500 предназначен для динамических испытаний в горизонтальной плоскости. Принцип действия - перемещение стола по масляной плёнке, создаваемой насосом давлением до 170 кгс/см². Перемещение стола осуществляется вибратором V-980.

Технические характеристики: размер рабочей зоны стола - 1,5x1,5 м; максимальная статическая нагрузка на подвижную плиту - 12000 кг; частотный диапазон - 5-2000 Гц;

Вертикальная разгрузочная платформа

Вертикальная разгрузочная платформа VLS-980 предназначена для динамических испытаний в вертикальной плоскости на вибростенде V-980.

Технические характеристики: максимальная вертикальная статическая нагрузка на подвижный стол - 3500 кг; масса подвижного стола - 287 кг; диаметр рабочей зоны подвижного стола - 1,0 м.

Платформа на резино-кордовых опорах

Платформа на резино-кордовых опорах (РКО) BC43-29.00 предназначена для удержания (крепления) крупногабаритных изделий и передачи заданных динамических нагрузок в горизонтальной плоскости от вибраторов V-980 и PL160N к испытываемому изделию.

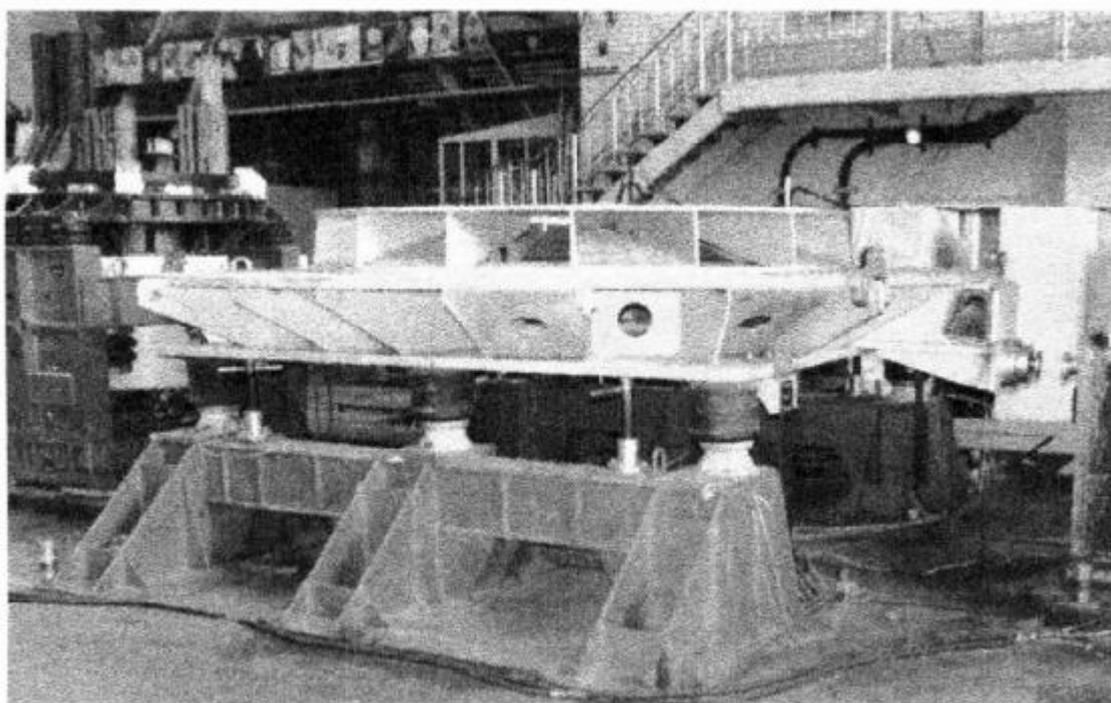


Рисунок 8.23 – Общий вид горизонтальной платформы

Габаритные размеры платформы 3,2x3,2x1,1 м. Она предназначена для испытаний изделий со следующими параметрами: максимальный диаметр - 4,5

м; высота изделия - до 12,0 м; максимальная масса испытываемого изделия - 6000 кг; максимальная статическая нагрузка на стол - 16000 кг. При проведении испытаний обеспечивается толкающее усилие от вибростендов от 9875 до 12800 кгс в частотном диапазоне 0,1-2000 Гц.

8.3.2.3. Электрогидравлический комплекс

Комплекс предназначен для проведения динамических испытаний изделий в области низких частот от 0,1 до 160 Гц. Состав комплекса вибраторов: PL160N (2 шт.), PLZ100P (1 шт.), PLZ63P (1 шт.).

Электрогидравлический вибратор PL160N является исполнительным органом при гармонической и случайной вибрации в диапазоне частот от 0,1 до 160 Гц с толкающим усилием 12800 кгс.

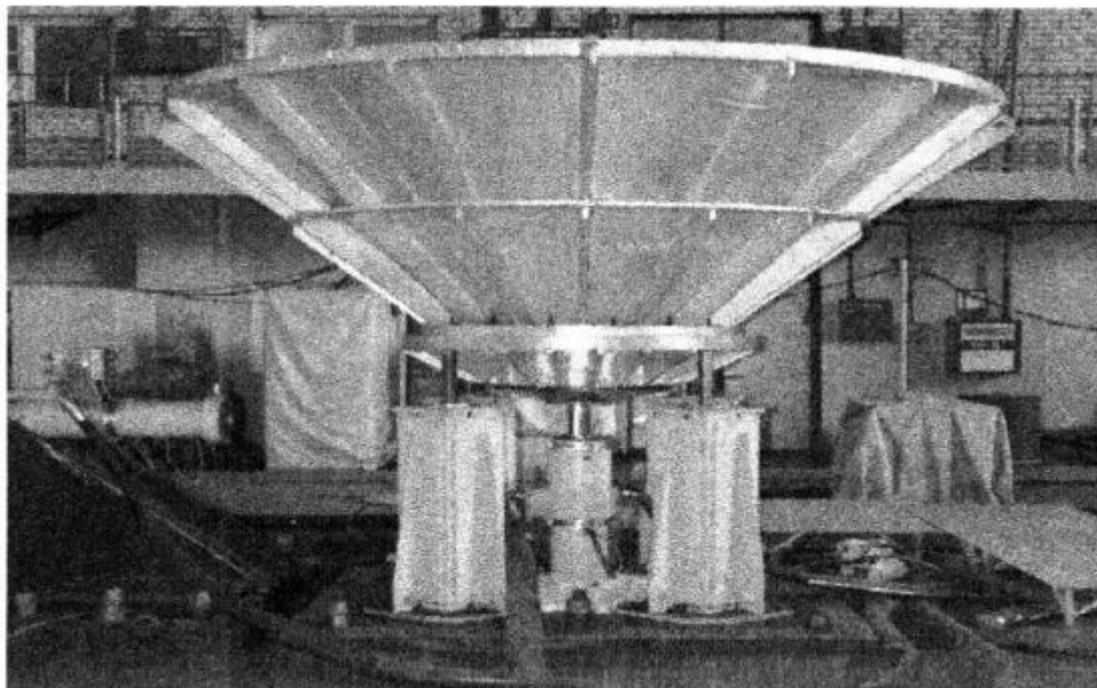


Рисунок 8.24 – Общий вид вибратора PL160N

Технические характеристики вибратора PL160N: толкающее динамическое усилие - 12800 кгс; частотный диапазон - 0,1-160 Гц; масса вибратора - 240 кг; габариты - 0,275x0,905 м.

Электрогидравлический вибратор PLZ100 P предназначен для создания гармонической и случайной вибрации в диапазоне частот от 0,16 до 100 Гц с толкающим усилием 8000 кгс.

Технические характеристики вибратора PLZ100 P: толкающее усилие 8000 кгс; частотный диапазон - 0,1—160 Гц; максимальная нагрузка на стол - 1000 кг; масса подвижной части вибратора - 50,6 кг; масса вибратора - 300 кг; габариты - 0,275x1,205 м.

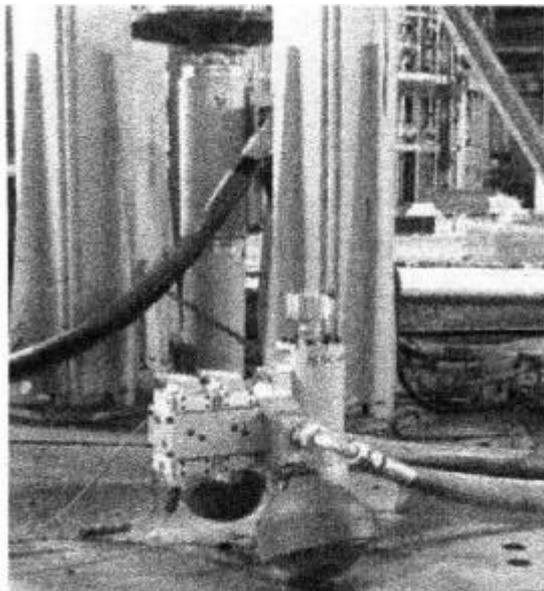


Рисунок 8.25 – Общий вид вибраторов PLZ100P

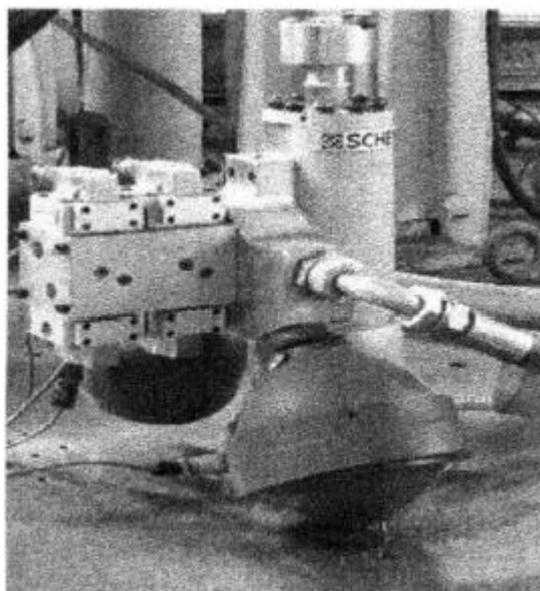


Рисунок 8.26 – Общий вид вибратора PL63 K

Электрогидравлический вибратор PL63 К предназначен для создания гармонической и случайной вибрации в диапазоне частот от 0,16 до 100 Гц с толкающим усилием 5040 кгс.

Технические характеристики вибратора PL63 К: толкающее усилие 5040 кгс; частотный диапазон 0,1–160 Гц; максимальная нагрузка на стол 1000 кг.

8.3.3. Комплексный стенд гидропроливочных испытаний ПГСП ДУ

Комплекс на рисунке предназначен для отработки пневмогидравлической системы подачи компонентов рабочего тела двигательных установок (ПГСП ДУ) изделий с целью определения их характеристик и оценки соответствия полученных параметров расчётным значениям.

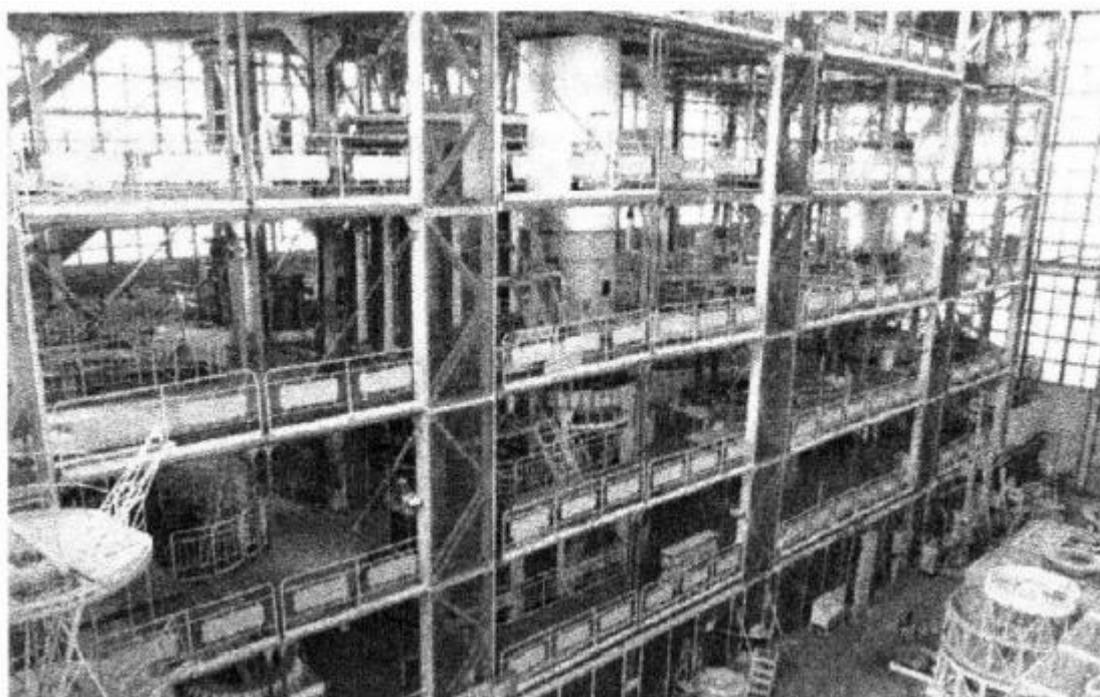


Рисунок 8.27 – Общий вид стенда для комплексных испытаний ПГСП ДУ

В состав стенда входят основные рабочие места (5 рабочих столов), которые оборудованы системой заправки изделий имитатором компонента топлива, системой слива, пневмосистемой для наддува изделий воздухом высокого давления, а также автоматизированными системами управления и измерения. Рабочие места оборудованы площадками обслуживания, расположенными вокруг рабочих столов на нескольких уровнях по высоте

стенда. Рабочие места стенда имеют грузоподъёмность от 30 до 400 т и высоту до 24 м при диаметре от 4 до 6 м.

При отработке ПГСП ДУ стендовых изделий проверяются гидравлическое сопротивление магистралей, величины давления в ёмкостях и магистральных ПГСП, величины гидравлических ударов и провалов давления в магистральных системах, определяются характеристики и производится подбор жиклёров систем наддува. В процессе испытаний отрабатываются также следующие штатные технологии подготовки ПГСП изделий к полёту: заправка баков, зарядка шаробаллонов, замещение воздушной среды на штатную, оценка правильности выбора алгоритмов управления и временных характеристик процессов в ПГСП ДУ.

Данный стенд может использоваться для отработки систем отделения створок головного обтекателя (ГО), систем разделения КА, РН и РБ в условиях, приближённых к натурным. Например, на третьем столе комплексного стенда проводилась отработка систем отделения космических аппаратов от ступеней ракетоносителя в условиях, имитирующих невесомость. Имитация невесомости осуществляется обезвешиванием отделяемой части противовесом равной массы. Связь между отделяемой частью и противовесом происходит через тросовую подвеску, скользящую по системе блоков грузовой тележки. Отработка отделения створок ГО КА производится на участке, расположенном рядом со стапелем комплексного стенда.

8.3.4. Комплексный вакуумный стенд

Для проверки герметичности крупногабаритных отсеков и испытаний блоков изделий РКТ, связанных с включением двигателей малой тяги в вакууме предназначен комплекс, который включает в себя вакуумные камеры разной размерности, дренажную вакуумную камеру, комплекс буферных вакуумных камер, соединённых системой газодинамических трактов, оборудованных системами высоковакуумной и форвакуумной откачки, а также стендовым измерительным комплексом.

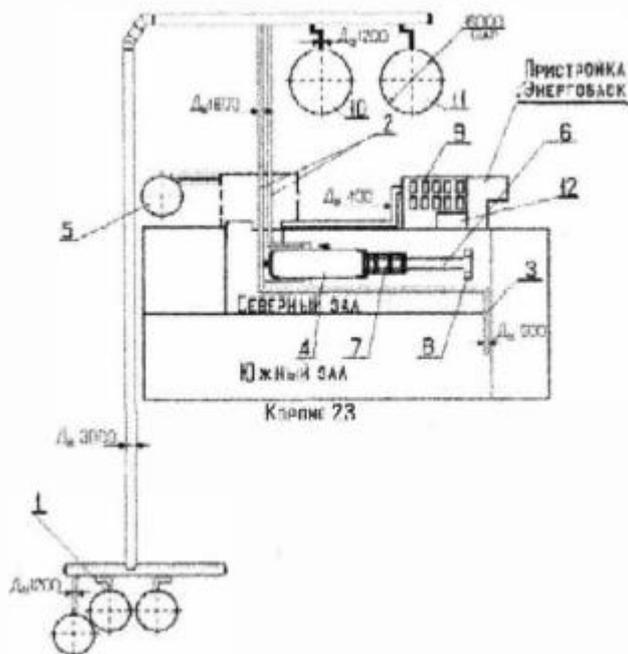


Рисунок 8.28 – Комплекс из вакуумных установок:

1 - комплекс буферных камер; 2 - вакуумный трубопровод; 3 - вакуумный трубопровод; 4 - камера КВ-800Г6,3-0,3; 5 - камера вакуумная дренажная КВ-3000/10-2; 6 - рельсовый путь; 7 - стапель; 8 - стапель крышки вакуумной камеры; 9 - оборудование вакуумной откачки камеры; 10 - шаровой газгольдер; 11 - камера СВК-2000; 12 - система управления и измерения комплекса (СУИК)

8.3.4.1. Вакуумная камера

Горизонтальная вакуумная камера КВ-800 Г/6,3-03 имеет рабочий объём камеры 800 м³ \ внутренний диаметр - 6,3 м, длину рабочей (цилиндрической) части камеры - 25,0 м и предназначена для размещения в ней крупногабаритных объектов испытания.

Камера оборудована внутренними и внешними технологическими площадками, системой вакуумных затворов, предохранительными мембранами и фланцами, обеспечивающими установку и подключение дополнительных систем и оборудования, обеспечивающих проведение испытаний. Система откачки может обеспечить рабочее давление в камере 133×10^{-4} Па (1×10^{-4} мм рт. ст.).

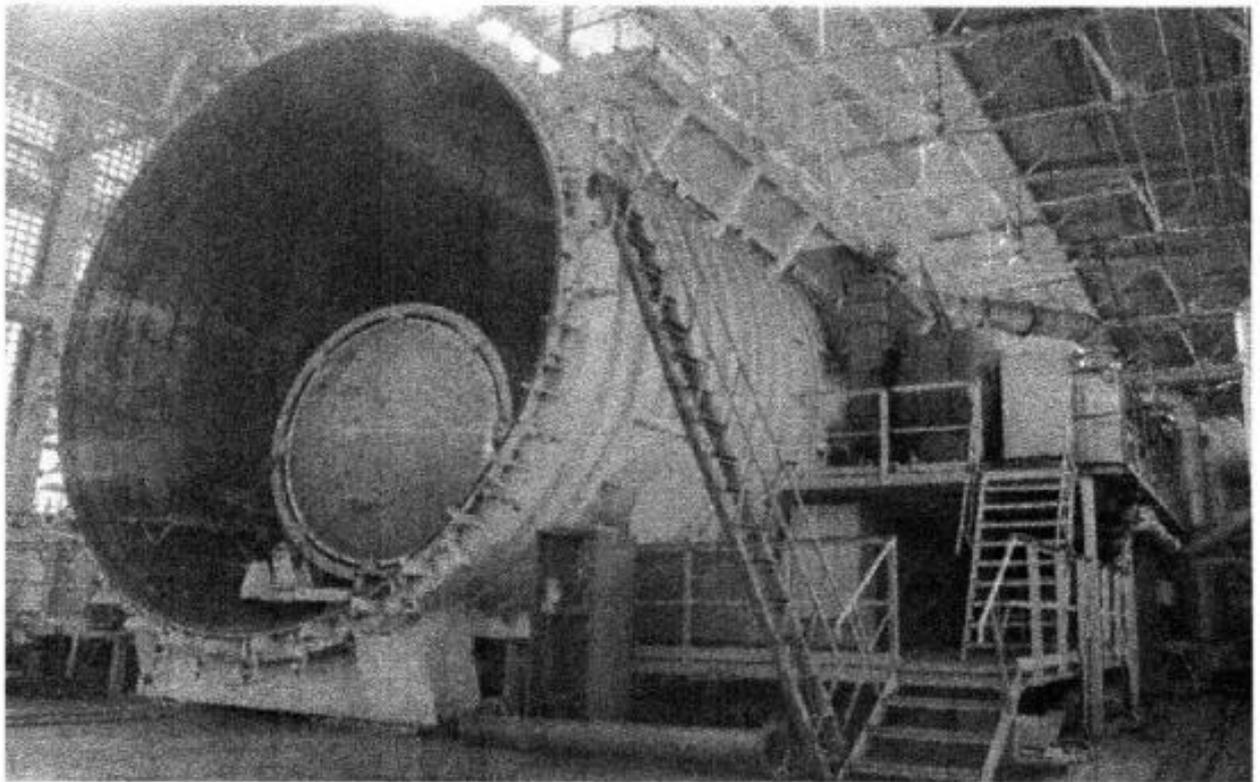


Рисунок 2.29– Внешний вид КВ-800

Вакуумная камера СВК-2000 выполнена в виде сферы и предназначена для проведения испытаний объектов, требующих больших объёмов (механизмы раскрытия антенн, солнечных батарей и т.п.) в условиях наличия низкого вакуума. Камера имеет рабочий объём 2000 м³, внутренний диаметр сферы - 16,0 м. СВК-2000 оборудована внутренними и внешними технологическими площадками, фланцами для стыковки электрических, пневматических и гидравлических систем объектов испытаний (ОИ) со стендовыми системами, системой освещения ОИ для фотографирования и скоростной киносъёмки, иллюминаторами в двух взаимоперпендикулярных плоскостях (в зените и экваторе). Система откачки может обеспечить рабочее давление в камере не более 66,5 Па (0,5 мм рт. ст.).

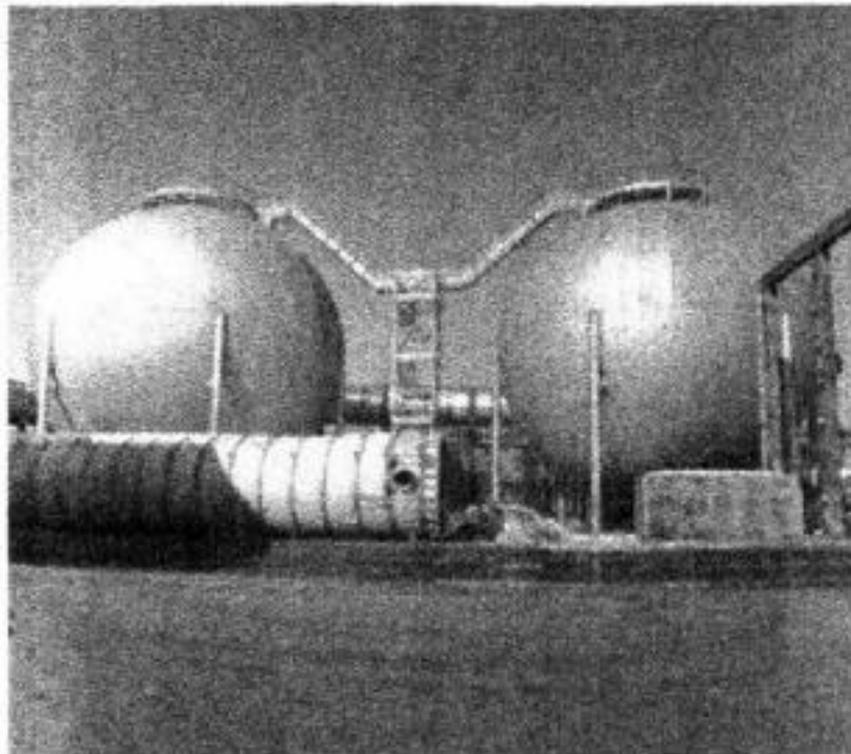


Рисунок 8.30 – Внешний вид камеры СКВ-2000



Рисунок 8.31 – Комплекс буферных вакуумных камер

8.3.4.2. Комплекс буферных вакуумных камер

Комплекс буферных вакуумных камер предназначен для приёма газов, выбрасываемых из изделий, при проведении испытаний в КВ-800 и СКВ-2000 с включением двигателей малой тяги, например систем ориентации и стабилизации, а также систем имеющих сброс рабочих тел в окружающее пространство.

В состав буферных камер входит один шаровой газгольдер Ш2-2000 и три вертикальные вакуумные камеры КВ3000 В/10⁻².

8.3.4.3. Система форвакуумной и высоковакуумной откачки

Система форвакуумной откачки (СФВО) предназначена для обеспечения откачки вакуумной камеры СВК-2000, комплекса буферных вакуумных камер и системы газодинамических вакуумных трактов до рабочего давления, предварительной форвакуумной откачки вакуумной камеры КВ-800 и обеспечения работы СФВО.

В состав системы входят несколько вакуумных насосов, запорно-регулирующая арматура (клапаны, затворы и т. д.) и система управления насосами и затворами.

СФВО предназначена для откачки вакуумной камеры КВ-800 до рабочего давления.

СФВО включает в себя насосы вакуумные бустерные масляные и электродуговые вакуумные агрегаты, запорно-регулирующую арматуру (клапаны, затворы, вентили и т. д.) и систему управления насосами НВБМ-5 М и затворами.

8.3.5. Комплексный стенд испытаний батарей солнечных (БС)

Стенд испытания предназначен для проведения экспериментально-испытательных работ по раскрытию панели БС в ручном и автоматическом режимах, а также для проведения вибродинамических и ударных испытаний панели в раскрытом положении в трёх плоскостях, засветки фотоэлементов и снятия вольтамперных характеристик, нагрева и охлаждения сложенной панели БС с последующим раскрытием, испытания несущих конструкций БС на

усталостную прочность. Стенд раскрытия представляет собой портал с перекрытием в верхней части, на котором установлены направляющая балка и элементы крепления тросов системы обезвешивания.

В состав стенда входит стенд раскрытия, стенд низкочастотных колебаний, система обезвешивания, а также система управления и измерения. Габаритные размеры стенда составляют 20x7x7 м, при этом система нагрева позволяет обеспечить диапазон создаваемых температур от -50 °С до +50 °С. При испытаниях может использоваться стенд низкочастотных колебаний с максимальным тяговым усилием гидропривода подвижной рампы 20000 кг при частоте до 1 Гц.

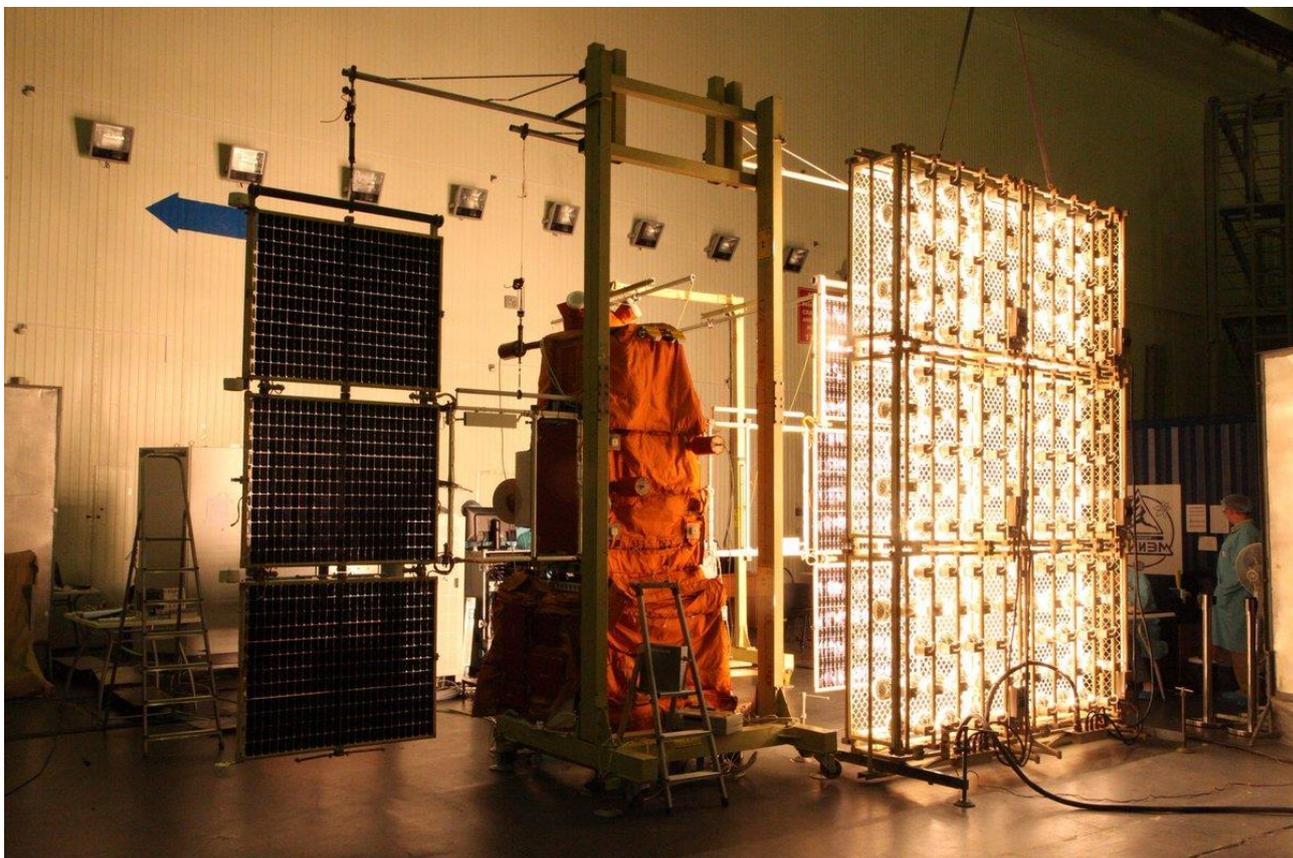


Рисунок 8.32 – Стенд для комплексных испытаний солнечных батарей
(общий вид стенда)

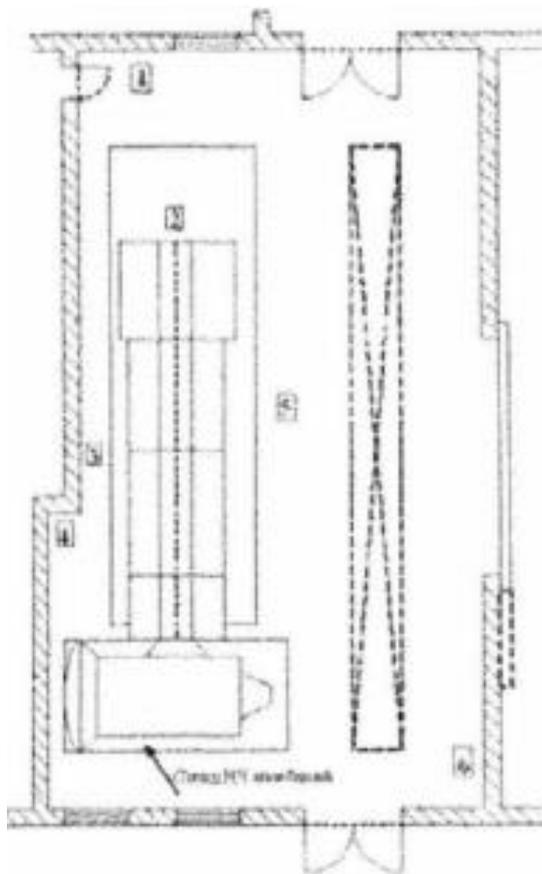


Рисунок 8.33 – Стенд для комплексных испытаний солнечных батарей
(планировка размещения стенда)

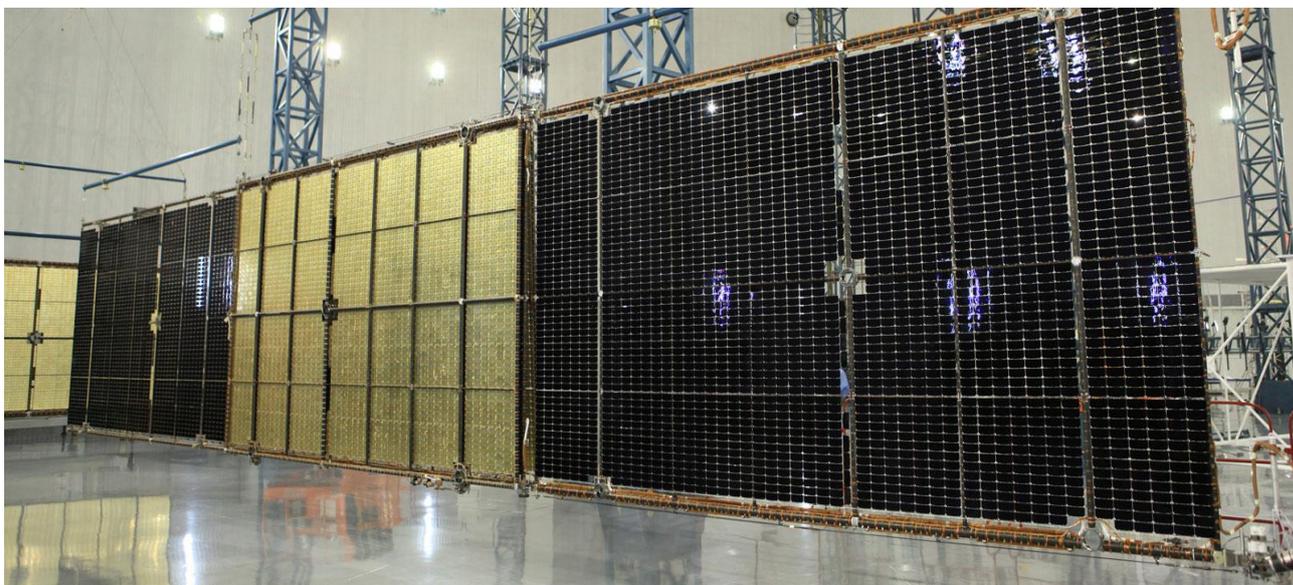


Рисунок 8.34 – Испытания солнечных батарей

В состав стенда для проведения низкочастотных колебаний входит неподвижная рама, подвижная рама с ложементами для установки отсека с БС, направляющие катки, гидравлический привод для обеспечения возвратно-поступательного движения подвижной рамы в горизонтальной плоскости с требуемой частотой и амплитудой. Усилие колебательного движения подвижной рамы через отсек или имитатор борта передаётся раскрытой БС, которая начинает раскачиваться на тросах системы обезвешивания.

Система обезвешивания состоит из набора тяг, перемещающихся по направляющей балке, и тросов. Система служит для проведения раскрытий и вибродинамических испытаний в раскрытом положении. Конфигурация системы обезвешивания определяется конструкцией солнечной батареи.

8.3.6. Динамический стенд полунатурного моделирования динамических характеристик рулевых трактов с цифровой системой управления

Динамический стенд предназначен для проведения проверки (отработки) функционирования в замкнутом контуре элементов динамической схемы и исполнительных органов системы управления двигательной установки (ДУ) РН, РБ и КА разрабатываемых изделий с учётом их жёсткостных и динамических характеристик, реальных величин люфтов рулевых трактов управления, а также для сквозного моделирования полёта с учётом динамических процессов старта и отделения, контроля полётных заданий и подтверждения штатной работы на всех участках циклограммы полёта, регистрации и отображения сигналов управления от штатной системы управления и контроля параметров рулевого тракта ДУ

Стенд представляет собой рулевой тракт на базе ДУ, демпферов и рулевых приводов. «Качание» двигателя осуществляется по двум взаимно-перпендикулярным осям в кардановом подвесе. Для испытаний используется стендовая насосная станция гидропитания рулевого привода с расходом рабочего тела до 40 л/мин и давлением подачи ракетного топлива - 220 кгс/см²-



Рисунок 8.35 – Изделие типа РБ

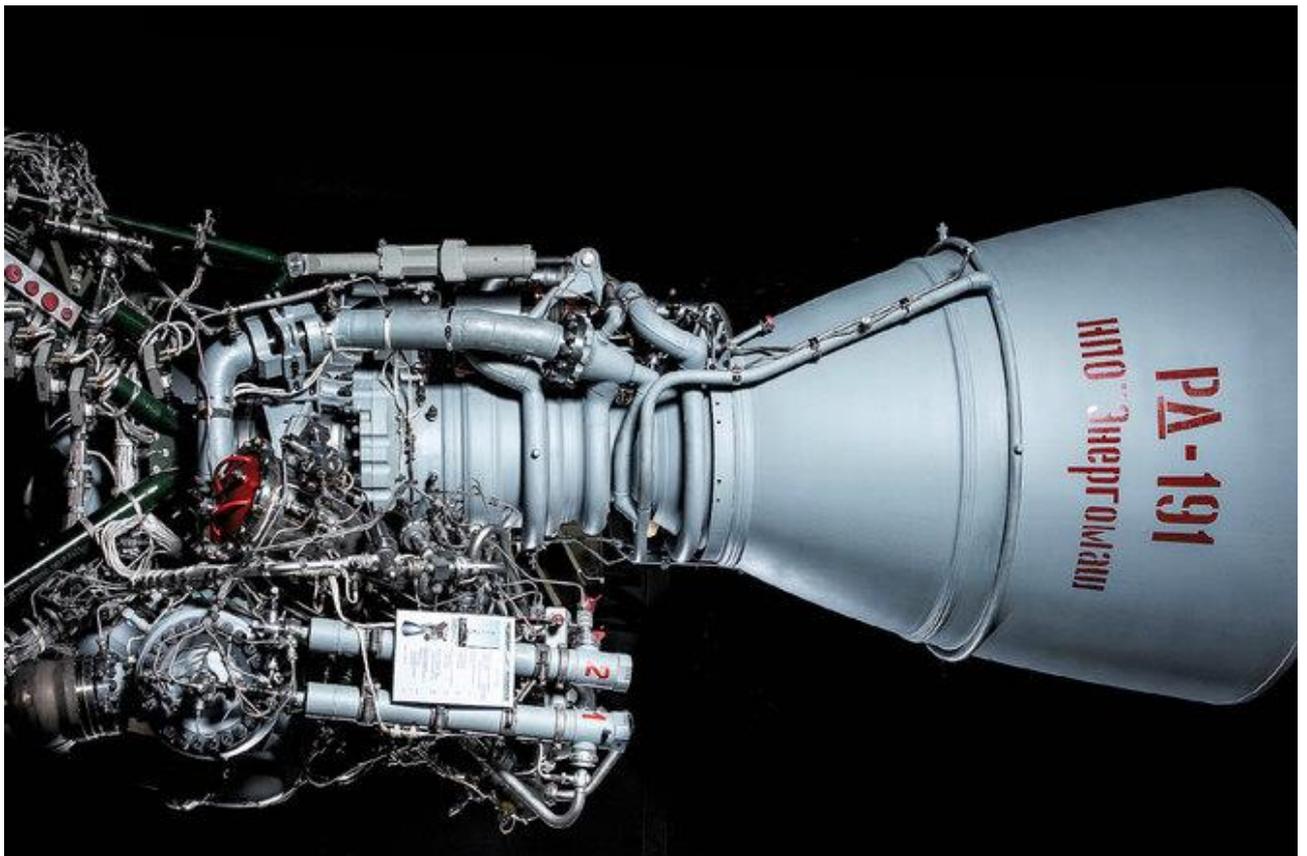


Рисунок 8.36 – Изделия типа РН тяжёлого класса

8.4. Комплекс средств автоматизированных систем управления, измерения и обработки результатов испытаний

Для обеспечения проведения автономных и комплексных испытаний используются специализированные системы управления и измерения.

8.4.1. Универсальная система измерения (УСИ)

УСИ предназначена для измерения медленно меняющихся давлений (избыточных и абсолютных), пульсации давления, измерения температуры, запаса топлива, расхода жидкости, ударных ускорений. Возможно также измерение параметров, выходные сигналы которых находятся в диапазоне 0-20 В.

УСИ обеспечивает измерение параметров медленно меняющихся процессов с частотой измерения до 10 Гц, так и быстроменяющихся процессов с частотой измерения до 20 кГц. Измерение избыточного давления осуществляется потенциометрическими датчиками давления повышенной точности типа ДТ, ДТМ, МД, МД-К, датчиками избыточного давления для агрессивных сред типа ДД-КМ, сдвоенными датчиками 2 ДТ, 2 МД-Т, 2 ДД-КМ.

Измерение перепада (разности) давления производится малогабаритными датчиками давления дифференциального унифицированного типа МДДФ-У, МДДФ-УК для агрессивных сред.

Измерение запаса топлива осуществляется потенциометрическими датчиками линейного перемещения типа ВТ-704, ВТ-710. Измерительный комплекс давления ИКД6 Т-Дф предназначен для измерения избыточного давления, измерения перепада (разности) давления, измерения запаса топлива.

Мобильный измерительно-регистрирующий и анализирующий 32-канальный комплекс для ударных испытаний «Пирс-32» предназначен для регистрации сигналов с пьезоэлектрических акселерометров по 32-м измерительным каналам при проведении ударных и вибрационных испытаний.



Рисунок 8.37 – Общий вид универсальной системы измерения

В состав комплекса входят измерительно-регистрирующий блок и блок обработки. Комплекс обеспечивает количество измерительных каналов - 32, диапазон измеряемых сигналов от 1 до 50000 Гц, диапазон измеряемых ускорений 1-20000 g, диапазон измерений 25-12800 пКл, частоту дискретизации сигналов 5-125 кГц при частоте 125 кГц - 33 с и при частоте дискретизации 5 кГц - 14 мин.

Измерительно-регистрирующий и анализирующий комплекс I-DEAS предназначен для регистрации, обработки, анализа, измерения виброударных процессов и выдачи информации при проведении динамических испытаний. В состав комплекса входят модули преобразования и обработки сигнала E1432 А, встроенный контроллер управления E1498 А, системный диск в модуле E3249 В, программное обеспечение MTS I-DEAS версии 8m3 под операционной системой HP-UX10, 20, блок усилителей OS4 NEXUS, монитор HP A4331 А.



Рисунок 8.38 – Типовое рабочее место оператора для комплексных испытаний

Комплекс обеспечивает 80 измерительных каналов, диапазон измеряемых частот - 2 ± 2000 Гц. Погрешности измерений амплитуды синусоидального сигнала - $\pm 10\%$, частоты периодического воздействия - $\pm 1\%$, передачи форм импульсного воздействия - $\pm 1\%$. 8-ми канальная цифровая система управления виброиспытаниями Laser предназначена для задания, измерения, управления режимами испытаний на синусоидальную, случайную (широкополосную) вибрацию, виброудар и т.п. в составе испытательных вибрационных установок. Система имеет 8 измерительных каналов с частотным диапазоном 22000 Гц и выходной частотой 48000 опросов/с.

Обеспечиваются следующие режимы управления: случайная вибрация, синусоидальная + случайная вибрация, случайная + случайная вибрация, синусоидальная вибрация с качанием частоты, классический удар.

В состав системы входят усилители цифровые измерительные программируемые SCADAS III, персональный компьютер, специализированное программное обеспечение.

Система обеспечивает 128 измерительных каналов с диапазоном измеряемых частот от 2 до 2000 Гц.

8.4.2. Системы управления стенда разделения

Система управления стенда разделения (СУСР) предназначена для выполнения следующих задач: подачи команд на подрыв средств разделения КА и их элементов по заданной циклограмме, проверки целостности цепей пиросредств и наземной кабельной сети, выдачи команд на запуск регистров системы измерения и кинокамер по циклограмме, выдачи на регистрацию токов и напряжений с цепей подрыва пиросредств и команд управления и запуска кинокамер.

СУСР состоит из управляющей, исполнительной частей и имитатора пиропатронов (ИПП).

Управляющая часть обеспечивает управление исполнительной аппаратурой в автоматическом режиме путём выдачи команд и получения обратных сигналов об их выполнении для подготовительного этапа и для этапа отработки циклограммы-подрыва, управления регистраторами и кинокамерами. Исполнительная часть обеспечивает работу как в ручном, так и в автоматическом режиме, дублируя все необходимые функции. В состав исполнительной части входят пульт контроля и управления (ПКУ) и блоки подрыва пиропатронов (БПП) 1–10.

Имитатор пиропатронов предназначен для имитации срабатывания пиропатронов при проверке на функционирование БПП в режиме «сбора» и «запоминания» сигналов, поступающих с БПП стойки управления.

8.5. Отраслевая стендовая база

Заключительные комплексные испытания макросистем часто проводятся на базах отрасли. Так, «огневые» испытания ПГС ДУ, сбросы головных

обтекателей (ГО) проводятся в НИЦ РКП, вибронагрузки крупных изделий - в ЦНИИМАШ и т. д.

Успешное осуществление комплексной экспериментальной отработки и решение многочисленных проблем при создании ЛА возможно, так как отрасль имеет развитую и технически оснащённую инфраструктуру отраслевой испытательной базы, научно обоснованную методическую документацию, а также опытный высококвалифицированный персонал. Тепловакуумные испытания КА или отдельных элементов КА в условиях, имитирующих воздействия космического пространства.



Рисунок 8.39 – Стенд для «огневых» испытаний ПГС ДУ



ИС-618
для проведения ТВИ КА

Рисунок 8.40 – ИС-618 со стороны МИК ИС-102

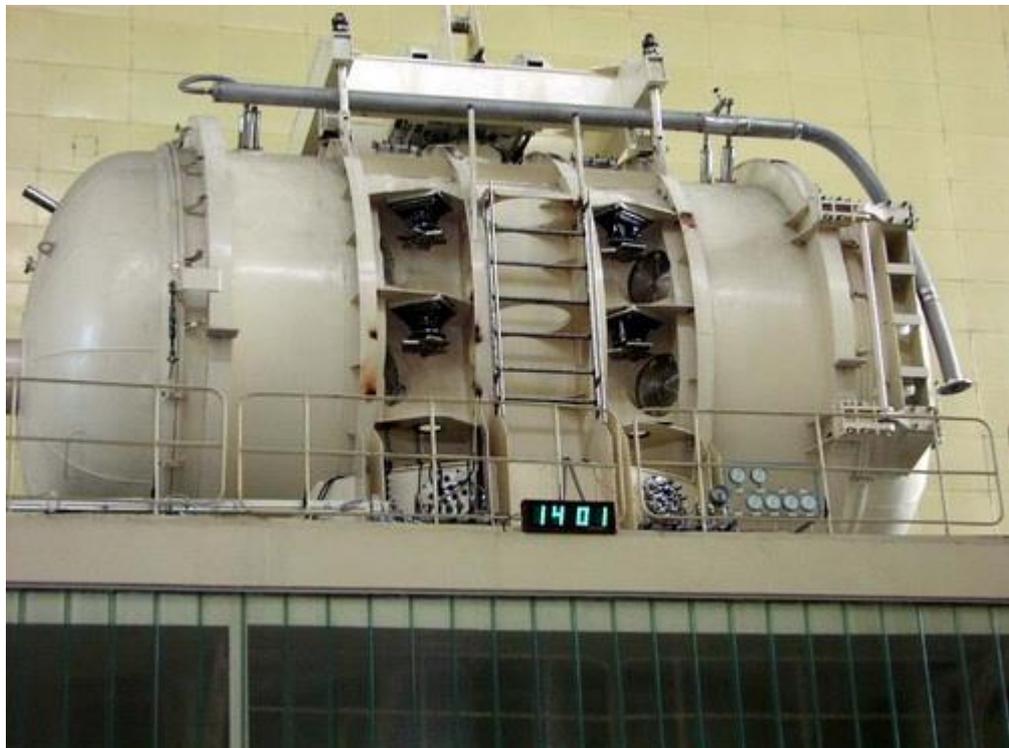


Рисунок 8.41 – Тепловакуумная камера

В состав комплекса входит камера ВК 600/300 со следующими габаритными размерами: диаметр - 7,9 м, высота - 15,2 м и полезным объёмом камеры 300 м³. Системы стенда обеспечивают рабочее давление в камере 5×10^{-5} - 5×10^{-6} мм рт.ст. при натекании от объекта 500-5000 лмк/сек. Рабочая температура азотных экранов -180 ± 10 °С. Грузоподъёмность опорно-поворотного устройства - 16 т.

Системы вакуумирования камеры ВК 600/300 обеспечивают рабочее давление, создаваемое системой предварительной и форвакуумной откачки на базе механических насосов НВЗ-500, криосорбционных агрегатов КС 4205, насосов ИКС 2,2/165 и турбомолекулярных насосов ТМН-50 и системой безмасляной высоковакуумной откачки на базе крионасосов RPK30000.

Имитатор солнечного излучения ИС-500-1 обеспечивает интенсивность излучения на поле размером 3x8 м от 0,5 до 3 кВт/м² (регулируемая), непараллельность лучей от 1°30' в центре поля до 3°30' по краям поля, спектр излучения в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм близок к солнечному.

Инфракрасные имитаторы (ИКИ) обеспечивают диапазон изменения величины падающего теплового потока на поверхность изделия от 50 до 1800 Вт/м² при неравномерности теплового потока на поверхности контрольного цилиндра Н=6 м и по периметру Д=3 м не превышает $\pm 10\%$ от заданного номинального значения.

Камера оборудована комплексом систем управления. Подсистема «Бортовая аппаратура» выдаёт на объект управления 148 аналоговых сигналов напряжением 23-34 В постоянного тока: 130 каналов мощностью 250 Вт и 18 каналов мощностью 750 Вт.

Подсистемы «ИТИЛ» и «Нагреватели» регулируют мощности на штатном ПКИ ВК 600/300 и специальных нагревательных элементах заказчика в диапазоне от 0 до 20 кВт - 38 каналов, от 0 до 15 кВт - 12 каналов, от 0 до 10 кВт - 10 каналов. Подсистемы «Камера», «Вакуум» и «Отогрев» осуществляют запуск и управление всем технологическим оборудованием комплекса.

Управление подсистемами осуществляется управляющими вычислительными комплексами на базе СМ 1634 - ТВСО-1.

Измерительный комплекс состоит из системы измерения параметров изделия, которая обеспечивает 1600 каналов измерения сигналов низкого уровня в диапазоне 0-20 мВ, 0-50 мВ, 0-100 мВ с термометров сопротивления и термопар с погрешностью $\pm(1-1,5)$ %, 2100 каналов измерения сигналов высокого уровня в диапазоне 0-10 В, 0-5 мА с потенциометрических датчиков давления, перепадов давления, перемещения и т. д. с погрешностью ± 1 %.

Комплекс автоматизированной обработки (КАО) состоит из трёх машин ЭВМ СМ 1634 (нижний уровень) и машины ЭВМ СМ 1210.01 (верхний уровень).

Система стендовых измерений включает систему регистрации, визуального контроля и сигнализации температур, давлений, расходов, уровней, тепловых потоков (до 200 параметров) с регистрацией на МЦК М40, на автоматические мосты и потенциометры с визуальным контролем на приборах КИП и А, систему вакуумметрии на 25 точек вакуумметрами ВВТ-3 с преобразователями ПМТ-6, 22 точки вакуумметрами ВЭМБ-1 с преобразователями ПММ-28, 20 точек вакуумметрами ПММ-13 М и ПММ-32-1.

В комплекс также входит система единого времени, системы громкоговорящей связи, шлемофонной связи, автоматической пожарной сигнализации с выходом на диспетчерскую аппаратуру и комплекс систем энергетического обеспечения.

9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВИБРОИСПЫТАНИЙ

Цель вибрационных испытаний — определить способность объекта сохранять свои свойства и целостность в условиях воздействия вибрации заданной степени жесткости. В соответствии с решаемыми задачами вибрационные испытания подразделяют на испытания на вибропрочность и испытания на виброустойчивость.

Испытания на вибропрочность проводят для проверки способности объекта противостоять воздействию вибрации заданной степени жесткости и нормально функционировать после прекращения этого воздействия. В испытаниях данного вида вибрационные нагрузки могут приводить к механическим повреждениям образца и могут быть использованы для прогнозирования срока службы объекта в условиях вибрационных нагрузок.

При испытаниях на виброустойчивость проверяется способность объекта выполнять свои функции и сохранять значения параметров в установленных пределах под воздействием вибрации. Во время испытаний на виброустойчивость объект, как правило, в течение установленного периода времени функционирует в нормальном режиме и подвергается воздействию вибрации, не вызывающей его механических повреждений. При этом регистрируются случаи отказов и сбоев в функционировании объекта.

Экспериментальное воспроизведение вибрационных нагрузок может быть реализовано путем одночастотного и многочастотного возбуждений вибрации различными способами: на фиксированной частоте, с качанием частоты, в форме случайного (узкополосного и широкополосного) возбуждения и т. д., а также использованием смешанных режимов испытаний. Кроме того, возбуждение может прилагаться одновременно к нескольким точкам объекта и (или) в нескольких направлениях.

Обычно в технических условиях используют следующие виды вибрационного воздействия:

- гармоническая вибрация на фиксированных частотах;
- гармоническая вибрация с качанием частоты;
- широкополосная случайная вибрация;
- вибрация, воспроизводящая заданную акселерограмму процесса;
- синусоидальные импульсы с заполнением.

Гармоническая вибрация на фиксированных частотах

Этот вид испытаний заключается в последовательном воздействии гармонической вибрации на определенных частотах с заданными амплитудами на испытуемый объект в требуемом диапазоне частот. Частоту и амплитуду регулируют вручную. Система управления поддерживает постоянство воспроизводимого ускорения или перемещения. В программе испытаний указывают поддиапазоны частот и фиксированные частоты в пределах этих поддиапазонов, продолжительность испытаний и амплитуду перемещения, скорости или ускорения.

Гармоническая вибрация с качанием частоты

Сущность метода состоит в циклическом прохождении заданного диапазона частот от нижней до верхней границы и обратно при постоянстве заданных параметров вибрации (обычно в качестве таких параметров используют амплитуду перемещения на низких частотах и амплитуду ускорения на высоких частотах). Частота перехода от режима постоянной амплитуды перемещения к постоянной амплитуде ускорения обычно лежит в диапазоне от 10 до 500 Гц. Система управления поддерживает постоянство воспроизводимого ускорения или перемещения. В процессе качания частоты фиксируют механические резонансы и иные отклонения в динамическом поведении или функционировании испытуемого объекта. В программе испытаний указывают диапазон качания частоты, амплитуды перемещения и ускорения, частоту перехода, скорость качания и продолжительность испытаний.

Широкополосная случайная вибрация

Сущность метода заключается в создании в контрольной точке стола вибростенда или в некоторой точке испытуемого объекта широкополосной

случайной вибрации, спектральная плотность ускорения которой должна быть близка к заданной, определенной по результатам натуральных испытаний. Программу испытаний задают в виде уровней спектральной плотности ускорения для поддиапазонов частот, входящих в диапазон частот испытаний.

Воспроизведение акселерограммы процесса

В испытании данного вида объект подвергают воздействию временного сигнала (акселерограммы), определяемого через спектр отклика таким образом, чтобы моделировать эффекты, вызываемые короткодействующими случайными силами. Акселерограмма может представлять собой запись реального события, выборку случайного процесса или искусственно синтезированный сигнал. Использование акселерограммы позволяет с помощью одного временного сигнала охватить широкий спектр отклика и одновременно возбудить все моды колебаний объекта с учетом эффекта их связанности. Испытания данного вида используют в тех случаях, когда объект в процессе эксплуатации подвергается воздействиям случайных динамических сил короткой длительности, например при землетрясении, взрыве, транспортной тряске. Условия испытаний определяются диапазоном частот испытаний, заданным спектром отклика, числом и длительностью акселерограмм и числом больших пиков отклика.

Синусоидальные импульсы с заполнением

В испытании данного вида объект возбуждают на фиксированных частотах (либо наблюдаемых в реальных условиях эксплуатации объекта, либо изменяемых с заданным шагом, не превышающим половину октавы) установленным числом синусоидальных импульсов. Эти фиксированные частоты могут совпадать с критическими частотами объекта, определенными при измерении его частотной характеристики.

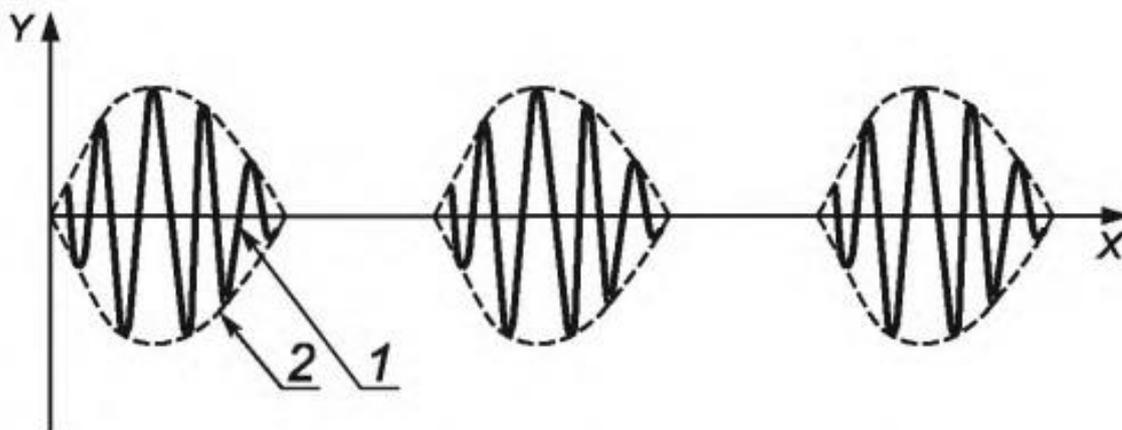


Рисунок 9.1 – Типичная последовательность синусоидальных импульсов с заполнением X — время; Y — ускорение (перемещение) вибрации; 1 — несущая частота; 2 — огибающая сигнала

Условия испытаний определяются диапазоном частот испытаний, уровнем вибрации, числом циклов колебаний в пределах одного импульса и числом импульсов. Система управления поддерживает постоянной амплитуду перемещения в диапазоне ниже частоты перехода и амплитуду ускорения в диапазоне выше этой частоты.

Типы и характеристики вибростендов

Основные типы вибростендов

Общие положения

Вибростенд является исполнительным органом вибрационной установки и обеспечивает воспроизведение и передачу на объект требуемой вибрации. Тип и свойства вибростенда определяют основные характеристики установки — как энергетические (вынуждающая сила, грузоподъемность, амплитуда перемещения, скорости или ускорения, диапазон частот), так и метрологические (допуски, гармонические искажения, колебания в поперечном направлении и т. д.). В зависимости от конструкции и принципа действия вибростенды подразделяют на электродинамические, гидравлические, механические, электромагнитные, пьезоэлектрические, магнитострикционные, резонансные и др. При испытаниях на вибропрочность и виброустойчивость наиболее часто

используют электродинамические, гидравлические и механические вибростенды.

Электродинамический вибростенд

Электродинамический вибростенд создает динамическую вынуждающую силу за счет взаимодействия переменного тока в подвижной катушке, которая служит исполнительным устройством вибростенда, и постоянного магнитного поля. Для передачи движения испытываемому объекту катушка может быть соединена с ним через стол. Вибрационную установку, в состав которой входит электродинамический вибростенд, называют электродинамической. Она включает в себя также задающий генератор и систему управления, усилитель мощности, источник питания катушки подмагничивания, средства измерений и вспомогательные средства, обеспечивающие работу установки. В состав установки может входить также горизонтальный стол скольжения.

Гидравлический вибростенд

Гидравлический вибростенд создает динамическую вынуждающую силу в результате изменения давления жидкости по заданному закону. В гидравлических вибростендах сила и движение передаются испытываемому объекту посредством гидравлического исполнительного устройства (поршня, толкаемого потоком жидкости), который управляется сервоклапанами. Вибрационную установку, в состав которой входит гидравлический вибростенд, называют гидравлической. Она включает в свой состав также гидравлическую систему питания, задающий генератор, замкнутую цепь управления, измерительное и вспомогательное оборудование.

Механический вибростенд Механический вибростенд создает динамическую вынуждающую силу в результате преобразования механической энергии вращательного движения. Механические вибростенды подразделяют на кинематические и инерционные. В кинематических вибростендах воздействие на испытываемый объект осуществляют путем его отклонения непосредственно управляющим механизмом, например кривошипно-шатунным, кулисным или кулачковым. В вибростендах инерционного действия вынуждающая сила

создается посредством вращательного (иногда возвратно-поступательного) движения неуравновешенных масс. Вибрационная установка, в состав которой входит механический вибростенд, называется механической.

Основные характеристики вибростендов

Характеристики электродинамических и гидравлических вибростендов приведены соответственно в ИСО 5344 и ИСО 8626 и включают в себя следующие:

- номинальную вынуждающую силу;
- допустимую статическую нагрузку;
- диапазон частот;
- пределы воспроизведения перемещения, скорости и ускорения;
- коэффициент гармонических искажений;
- коэффициент поперечных составляющих;
- неравномерность распределения вибрации по столу вибростенда;
- резонансные частоты вибростенда.

Особенности вибростендов разных типов

Электродинамический вибростенд

Типичные значения характеристик электродинамических вибростендов приведены в таблице. Изготовителями предлагаются ряды моделей, различающихся значениями номинальной вынуждающей силы. В случае приобретения вибрационной установки у изготовителя или при комплектовании такой установки из разных источников рекомендуется обращаться к технической документации, где указаны реальные технические характеристики оборудования.

Таблица 9.1 – Типичные значения характеристик электродинамических вибростендов

Номинальная вынуждающая сила, Н	Выходная мощность усилителя мощности, ВА	Диапазон частот, Гц	Максимальное перемещение, мм	Максимальная скорость, м/с	Максимальное ускорение без нагрузки, м/с ²	Максимальная нагрузка, кг	Масса подвижной системы, кг
31.5	6.3	От 5 до 13000	2.5	0.4	200	1.0	0.16
63	19	От 5 до 10000	2.5	0.4	300	1.5	0.2
125	62.5	От 5 до 8000	5.0	0.8	500	2.0	0.25
250	165	От 5 до 8000	8.0	1.3	650	4.0	0.38
500	400	От 5 до 7000	8.0	1.3	800	10.0	0.62
1000	1000	От 5 до 5000	12.5	2.0	1000	25.0	1.0
2000	2000	От 5 до 5000	12.5	2.0	1000	75.0	2.0
4000	4000	От 5 до 4000	12.5	2.0	1000	200.0	4.0
8000	8000	От 5 до 3500	12.5	2.0	1000	300.0	8.0
16000	16000	От 5 до 3000	12.5	2.0	1000	400.0	16.0
32000	32000	От 5 до 2500	12.5	2.0	1000	500.0	32.0
64000	64000	От 5 до 2000	12.5	2.0	1000	1000.0	64.0
128000	128000	От 5 до 1800	12.5	2.0	1000	2000.0	128.0
200000	200000	От 5 до 1600	12.5	2.0	1000	3125.0	200.0

Характерными особенностями электродинамических вибростендов являются:

- возможность возбуждения вибрации любого вида: гармонической (на фиксированной частоте и с качанием частоты), случайной (широкополосной и узкополосной) и др.;

- простота и удобство управления (в ручном и автоматическом режимах); - широкий диапазон частот: от 0,5 до 15000 Гц (обычно от 5 до 5000 Гц). Обычно, чем меньше номинальная вынуждающая сила, тем выше верхняя граница диапазона частот;

- большие значения воспроизводимых перемещений: до ± 25 мм (обычно до + 12,5 мм) и ускорений: до 1500 м/с² (обычно до 1000 м/с²);

- большие значения вынуждающей силы: до 400 кН (обычно до 200 кН);

- относительно большая допустимая нагрузка: до 4000 кг (обычно до 1000 кг);

- малый уровень гармонических искажений: около 5 % (за исключением отдельных областей частот, где искажения возрастают вследствие резонансов вибростенда и нагрузки);

- приемлемый уровень поперечных колебаний и неравномерности распределения вибрации по столу вибростенда: около 10 % (за исключением отдельных областей частот, где отклонение движения от заданного возрастает вследствие резонансов подвижной системы и эксцентриситета нагрузки).

Недостатком электродинамического вибростенда является наличие магнитного поля рассеяния в зоне стола, но при наличии в составе вибрационной установки устройства компенсации поля его удастся уменьшить до значений порядка 0,001 Т. Следует иметь в виду, что номинальную вынуждающую силу нельзя обеспечить во всем номинальном диапазоне частот. На нижних частотах она ограничена максимальным ходом стола (перемещением), на средних частотах — максимальным значением скорости, на высоких частотах — резонансами подвижной системы вибростенда. Достижимое значение ускорения зависит от массы нагрузки. ИСО 5344 устанавливает шесть испытательных нагрузок: m_0 , m_1 , m_4 , m_{10} , m_{20} , m_{40} , где первая нагрузка равна нулю (ненагруженный стол вибростенда), а остальные имеют массы, при которых достигаются ускорения стола 10, 40, 400, 200 и 400 м/с² соответственно.

Гидравлический вибростенд

Типичные значения характеристик гидравлических вибростендов приведены в таблице. Характерными особенностями гидравлических вибростендов являются:

- возможность возбуждения вибрации любого вида;
- простота и удобство управления (в ручном и автоматическом режимах);
- расширение частотного диапазона до нуля в области низких частот и ограничение верхней частоты примерно 800 Гц (обычно не более 100 Гц);
- большие значения воспроизводимых перемещений: до 200 мм, ускорения: до 1000 м/с² и скорости: до 10 м/с (обычно до 2 м/с);
- очень большая развиваемая сила: до 10 МН (обычно не более 1 МН);
- очень большая допустимая нагрузка: до нескольких тонн;
- малый уровень поперечных колебаний: обычно от 5 % до 10 %;
- отсутствие магнитного поля в зоне стола;

- малая чувствительность к эксцентриситету нагрузки;
- повышенный уровень гармонических искажений в низкочастотной области (ниже собственной частоты исполнительного устройства): до 15 % и более;
- низкий уровень гармонических искажений на частотах выше собственной: около 5 %.

Таблица 9.2 – Типичные значения характеристик гидравлических вибростендов

Вынуждающая сила, Н	Диапазон частот, Гц	Максимальное перемещение, мм	Максимальная скорость, м/с	Максимальное ускорение, м/с ²	Масса подвижной системы, кг
5000	От 0,1 до 140	100	2.0	1000	5
8000	От 0.1 до 100	100	2.0	1000	8
10000	От 0.1 до 100	100	2.0	1000	10
15000	От 0,1 до 100	100	2.0	1000	15
20000	От 0.1 до 100	100	2.0	1000	20
30000	От 0,1 ДО 60	100	2,0	1000	30
50000	От 0.1 до 60	100	2,0	1000	50
100000	От 0,1 до 60	100	17	600	167
200000	От 0.1 до 60	100	0.8	300	667
500000	От 0.1 до 30	100	0.3	100	5000
1000000	От 0,1 до 30	100	0.1	30	33333

Механический вибростенд

Типичные значения характеристик для механических вибростендов приведены в таблице.

Характерными особенностями механических вибростендов являются:

- возможность возбуждения только гармонической вибрации на фиксированных частотах;
- сложность управления;
- ограниченный диапазон частот: от 0,1 до 300 Гц (обычно от 5 до 100 Гц);
- низкий уровень воспроизводимых перемещений: обычно около 5 мм, в инфразвуковой области возможно увеличение до 100 мм;
- низкий уровень воспроизводимого ускорения: до 300 м/с² (обычно не более 150 м/с²);
- допустимая нагрузка до нескольких тонн (обычно несколько десятков или сотен килограммов);
- повышенный уровень гармонических искажений (обычно от 15 % до 25 %, наличие высокочастотного узкополосного шума);

- повышенный уровень поперечных колебаний: около 25 %; - отсутствие магнитного поля в зоне вибростола;

- простота конструкции;

- низкая стоимость;

- перемещение (скорость, ускорение) не зависит от массы нагрузки;

- перемещение не зависит от частоты.

Таблица 9.3 – Типичные значения характеристик механических вибростендов

Номинальная нагрузка, кг	Диапазон частот, Гц	Максимальное перемещение, мм	Максимальное ускорение, м/с ²	Масса подвижной системы, кг
5	От 5 до 100	±5	150	0.33
25	От 5 до 100	±5	150	1,66
50	От 5 до 100	±5	100	5.0
100	От 5 до 80	±3	100	10,0
250	От 5 до 80	±3	50	50,0
500	От 5 до 80	±3	50	100,0
1000	От 5 до 80	±2.5	50	200,0

Сравнение вибростендов электродинамического, гидравлического и механического типов

В таблице приведены предельные значения основных характеристик вибростендов трех типов. Области обычного использования сравниваемых вибростендов показаны на рисунке.

Таблица 9.4 – Основные характеристики вибростендов

Параметр	Тип вибростенда		
	электродинамический	гидравлический	механический
Вынуждающая сила, кН	От 0.1 до 400	От 5 до 10000	От 0.5 до 150
Масса нагрузки, кг	1000	5000	500
Перемещение, мм	± 25, обычно ± 12,5	± 200, обычно ± 50	± 100, обычно ± 5
Ускорение (без нагрузки), м/с ²	1500, обычно 1000	1000, обычно 100	300, обычно 100
Частота, Гц	От 0,5 до 20000, обычно от 5 до 500	От 0 до 800, обычно от 1 до 200	От 0,1 до 300, обычно от 5 до 100

Параметр	Тип вибростенда		
	электродинамический	гидравлический	механический
Гармонические искажения, %	От 2 до 5, на некоторых частотах до 25 и более	15 ниже собственной частоты. 5 выше собственной частоты	20 и более
Поперечные колебания, %	От 5 до 10, на некоторых	От 5 до 10	20 и более
Неравномерность распределения вибрации по столу.	От 5 до 10, на некоторых	От 2 до 5	От 5 до 10
Магнитная индукция, Т	0,001 и более	Нет	Нет
Чувствительность к эксцентриситету нагрузки	Существенная	Низкая	Существенная
Виды возбуждения	Все	Все	На фиксированных частотах
Цена	Высокая	Высокая	Низкая

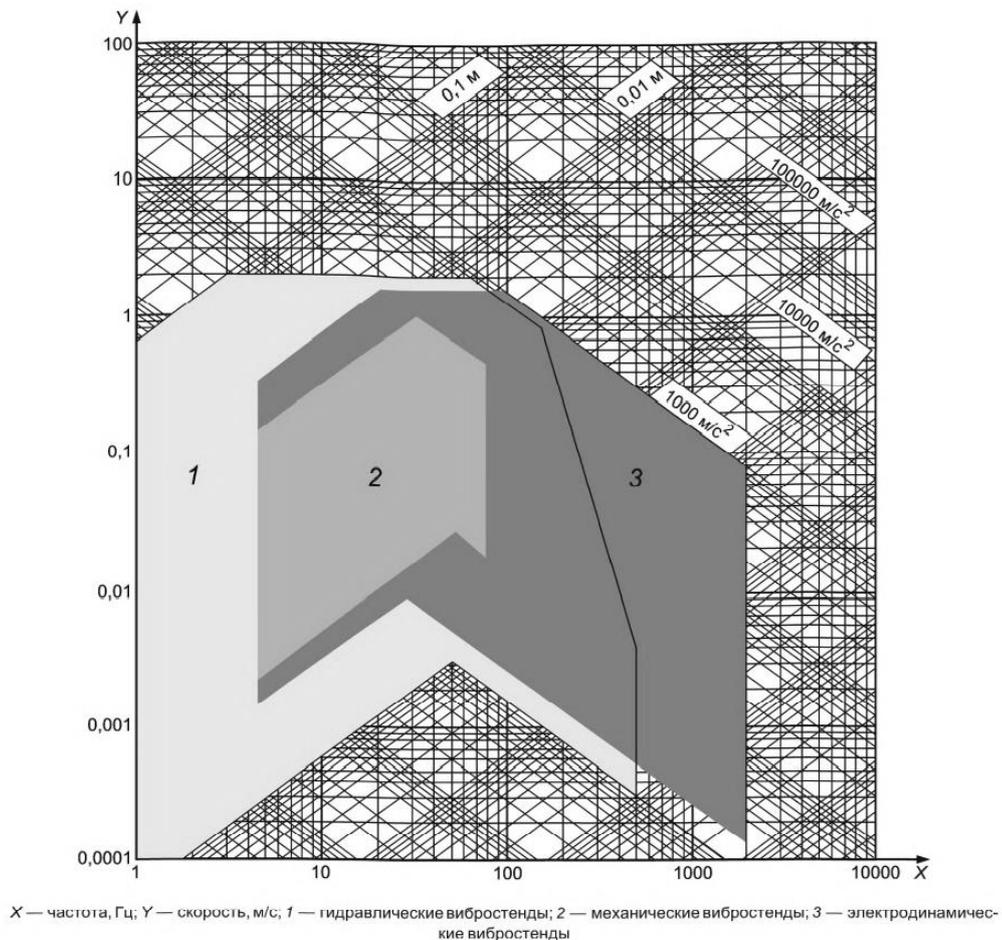


Рисунок 9.2 – Сравнение областей типичного применения электродинамических, гидравлических и механических вибростендов

Рекомендации по выбору вибростенда

Выбор типа вибростенда

В соответствии с требованиями к испытаниям вибростенд должен обеспечивать воспроизведение вибрации с заданными параметрами: перемещением d , ускорением a , спектральной плотностью ускорения Φ_a на заданной частоте f или в диапазоне частот от f_L до f_H при нагружении объектом массы m_s и допустимых уровнях гармонических искажений, поперечных составляющих вибрации, неравномерности распределения вибрации по столу вибростенда и магнитного поля рассеяния в зоне стола.

Исходя из указанных требований к параметрам испытаний и из особенностей и характеристик вибростендов, определяют тип вибростенда.

На высоких частотах (выше 1000 Гц) может использоваться только электродинамический вибростенд; на низких частотах (инфразвуковой диапазон частот) предпочтение следует отдать гидравлическому вибростенду; на средних частотах (до 200 Гц) могут использоваться все виды вибростендов.

Для воспроизведения значительных перемещений (более ± 25 мм) используют, как правило, гидравлический вибростенд.

Случайная вибрация может быть воспроизведена электродинамическим и гидравлическим вибростендами.

Для испытаний очень тяжелых объектов (более 1000 кг) целесообразно использовать гидравлический вибростенд.

При возможности использовать вибростенды каждого из трех типов следует обращать внимание на точностные характеристики, определяемые уровнем допустимых гармонических искажений, поперечных составляющих, неравномерности распределения вибрации и магнитного поля рассеяния в зоне стола. Наличие требования к отсутствию магнитных полей практически исключает или существенно затрудняет использование электродинамического вибростенда. Если же такого требования нет, то выбор электродинамического вибростенда может оказаться предпочтительным. С другой стороны, при достаточно низких требованиях к точности испытаний с целью снижения затрат

на испытания целесообразно использовать механический вибростенд.

Гидравлический вибростенд следует использовать для испытаний на низких частотах, когда требуются большие перемещения и большие усилия.

Электродинамический вибростенд целесообразно использовать при испытаниях в широкой полосе частот с небольшими перемещениями и высокими ускорениями.

Для них характерно малое искажение формы сигнала при гармоническом возбуждении и высокая точность управления при случайном возбуждении. Для проведения испытаний на воздействие случайной вибрации могут быть использованы гидравлические и электродинамические вибростенды. Номинальные характеристики вибростендов должны превышать требования к испытаниям.

9.1 Руководство по эксплуатации электромеханический вибростенд

9.1.1. Краткое введение в принцип работы

Система для испытаний на механическую вибрацию предназначена для проверки способности аппаратуры выполнять свои функции при наличии воздействия вибрации, проверки способности аппаратуры противостоять разрушающему действию вибрации, для проведения испытаний на воздействие синусоидальной вибрации одной частоты на серийных образцах аппаратуры для выявления грубых технологических дефектов.

Аппаратуру жестко крепят к платформе стенда в пределах рабочего стола в эксплуатационном положении или согласно ТУ.

Центр масс аппаратуры должен располагаться соосно с центром рабочего стола. В случае если центр масс аппаратуры нет возможности точно расположить соосно с центром рабочего стола, то рекомендуем применять дополнительные страховочные приспособления (стропы, тросы, упоры и т.д. пользователь выбирает способ страховки объекта самостоятельно исходя из особенностей испытываемого объекта) во избежание возникновения опрокидывающего момента.

При испытании аппаратуры высотой больше чем 500 мм, а также если она обладает сложной конструкцией рекомендуем также применять страховочные

приспособления как указано выше.

Во избежание непредвиденных ситуаций при проведении испытаний, рекомендуем провести апробирование на низких частотах и минимальной перемещении, с дальнейшим постепенным увеличением частоты и перемещения до требуемых рабочих.

При не корректном поведении системы с данным объектом на требуемых параметрах испытаний, рекомендуем установить центр масс максимально близко к центру рабочего стола, жестко зафиксировать испытываемую аппаратуру и все ее составные части и применять страховочные приспособления, во избежание возникновения нештатных ситуаций. Также необходимо проверить правильность установки дебалансов и заданные параметры.

Выступление аппаратуры за границы рабочего стола не рекомендуется, так как это может приводить к появлению дополнительных моментов, возникновению резонансов в изделии и к другим не желательным воздействиям на объект и работу системы в целом.

Согласно ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011, следует иметь в виду, что номинальную вынуждающую силу нельзя обеспечить во всем номинальном диапазоне частот. На нижних частотах она ограничена максимальным ходом стола (перемещением), на средних - максимальным значением скорости. Достижимое значение ускорения зависит от массы нагрузки.

Также стоит отметить, что учетом конструктивных особенностей, мощности двигателя и применяемых виброопор система обладает соответствующими ограничениями в работе. В связи с этим система управления вибростендом проводит расчет введенных параметров пользователем и проверяет их на теоретическую совместимость с возможностями стенда.

Также согласно ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011, следует иметь ввиду, что в общем случае верхняя граница рабочего диапазона частот будет зависеть от динамического поведения стола, системы крепления объекта испытания и самого объекта.

Также нужно понимать, что предельные параметры работы вибростенда не

могут быть достигнуты одновременно.

Согласно ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011, пользователь стандарта должен иметь в виду, что на выбор испытательного оборудования могут существенно повлиять специфичность условий испытаний, равно как и испытуемого объекта. Так, например, требование возбуждать вибрацию объекта, который перед этим был установлен в климатической камере, предъявляет особые требования к интерфейсу вибростенда, а если испытуемый объект имеет большие размеры и (или) сложную форму и при этом обладает многочисленными резонансами для разных направлений колебаний, то это может потребовать применения более мощного испытательного оборудования, чем то, что было бы выбрано в соответствии с настоящим стандартом для объекта той же массы, но обладающего большей жесткостью. Ввиду того, что указанные особенности трудно поддаются формализации, связанные с ней вопросы в настоящем стандарте, не рассматриваются.

9.1.2. Основные технические характеристики вибростенда

Таблица 9.5 – Основные характеристики

Параметр	Значение
Максимальная нагрузка	35 кг
Размер рабочего стола	440x500 мм
Номинальный диапазон частот	20-80 Гц
Максимальное ускорение (пустой стол)	10 g
Перемещение (пик-пик) (пустой стол)	до 3 мм
Тип вибрации	Синус
Направление вибрации	Вертикальное
Режимы работы	Фиксированная частота, Качающая частота, Ступенчатая частота
Ускорение не может быть зафиксировано в режиме «качающая частота», «ступенчатая частота»	

Точность воспроизведения виброускорения в 15 % контрольной точке, не более	15 %
Неравномерность распределения 25 % виброускорения по столу, не более	25 %
Питание	220В± 10%, 50Гц± 1 Гц, земля
Мощность	1,45 кВт
Вес вибростенда	120 кг
Время непрерывной работы 8 часов, перерыв между сменами должен составлять не менее 1,5 часов, в случае непрерывной работы на стенде на частотах выше 50 Гц перерыв между сменами должен составлять не менее 2,5 часов	

9.1.3. Описание интерфейса программы

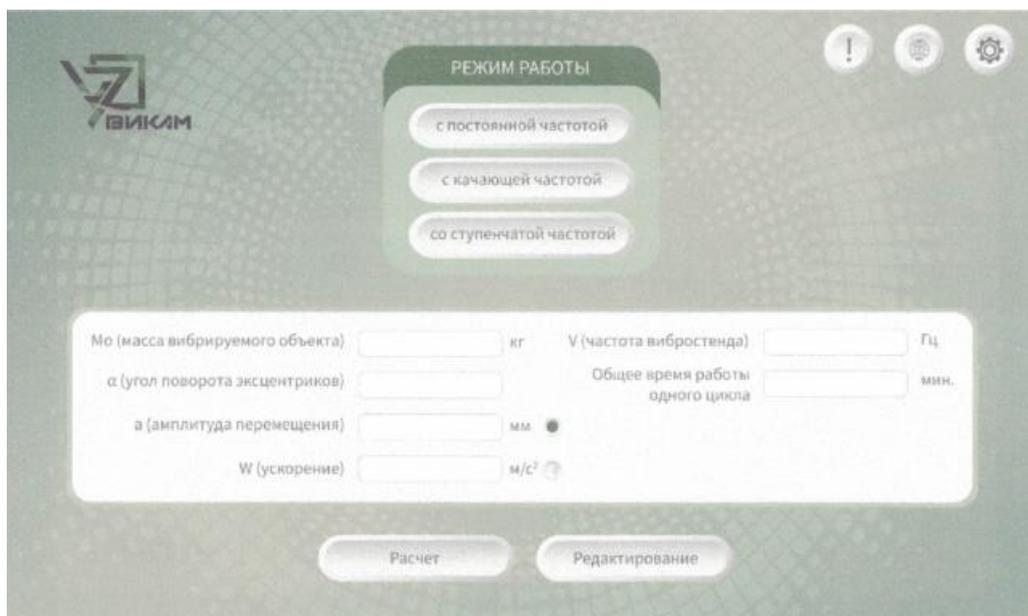


Рисунок 9.3 – Режим с постоянной частотой

На рисунке Вы можете ознакомиться с интерфейсом программы. Слева сверху расположены кнопки для выбора режима испытаний (с постоянной частотой, с качающей частотой или со ступенчатой частотой). После выбора соответствующего режима испытаний необходимо ввести требуемые данные для испытаний в соответствующую ячейку. Оператор нажимает кнопку «Редактирование» вводит Массу вибрируемого объекта, амплитуду перемещения или ускорение, при этом оператор вводит то что ему известно выделив указатель (синяя точка) напротив соответствующего окна. Далее оператор вводит требуемую частоту испытаний и время работы. Далее оператор нажимает кнопку «Подтвердить» (она будет расположена на месте кнопки «Редактирование»). Затем оператору необходимо нажать кнопку «Расчет», после чего произойдет расчет угла α , который необходимо выставить на всех 4-х дебалансах (расположены под защитными крышками на вибрируемом столе, с двух сторон). После установки угла на всех четырех дебалансах, оператор закрывает защитные крышки. Для начала работы необходимо нажать кнопку «Запуск».

Для изменения введённых параметров необходимо нажать кнопку «Редактирование».

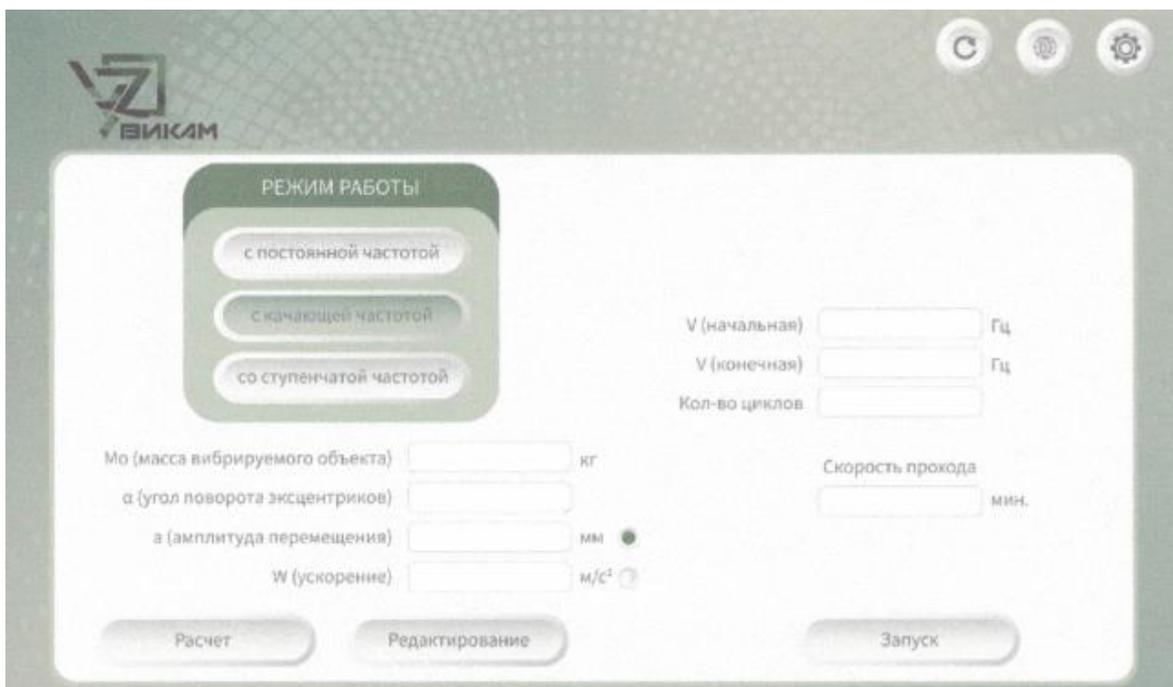


Рисунок 9.4 – Режим с качающей частотой

Для перехода в режим с качающей частотой необходимо нажать соответствующую кнопку на экране.

Для режима с качающей частотой процесс введения данных, их подтверждения, редактирования, проведения расчета угла и запуска системы идентичен описанному выше.

Отличие заключается в том, что в данном режиме требуется введение начальной и конечной частоты и скорости прохода, которая может быть задана либо в виде времени прохода от начальной частоты до конечной.

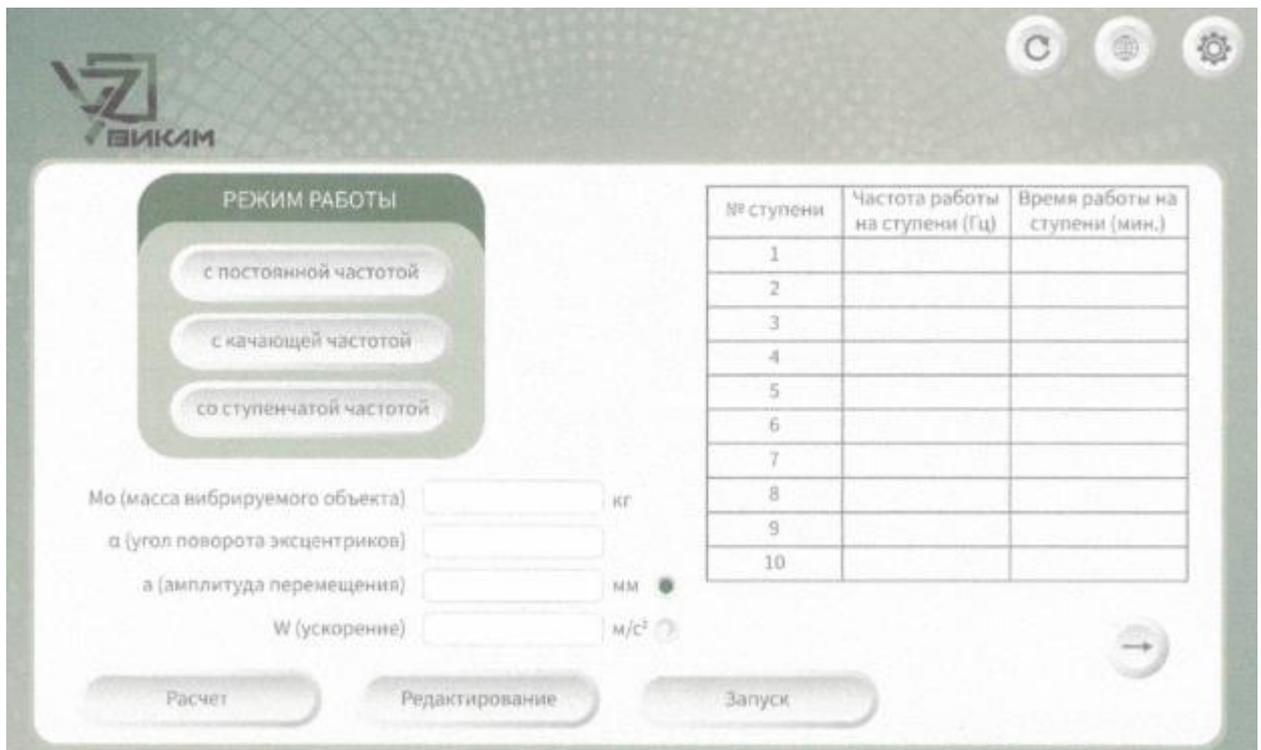


Рисунок 9.5 – Режим работы со ступенчатой частотой

Для перехода в режим со ступенчатой частотой необходимо нажать соответствующую кнопку на экране.

Для режима со ступенчатой частотой процесс введения данных, их подтверждения, редактирования, проведения расчета угла и запуска системы идентичен описанному выше.

Отличие заключается в том, что оператор вводит в соответствующие строки частоту, на которой необходимо проводить испытание и время работы на данной степени. После окончания работы на данной степени система переходит к работе на следующей ступени.

Синяя стрелка справа в углу, служит для перелистывания сток, всего их 20 шт.

Для всех режимов, показания угла, который необходимо выставить на дебалансах является расчетным. Для более точного соответствия заданного перемещения/ускорения требуемому рекомендуется дополнительная регулировка дебалансов (изменение угла дебаланса относительно расчетного в большую или меньшую сторону). Контроль значения перемещения/ускорения на

рабочем столе, рекомендуем проводить при помощи виброметра. Например, Вибротест МГ4.01

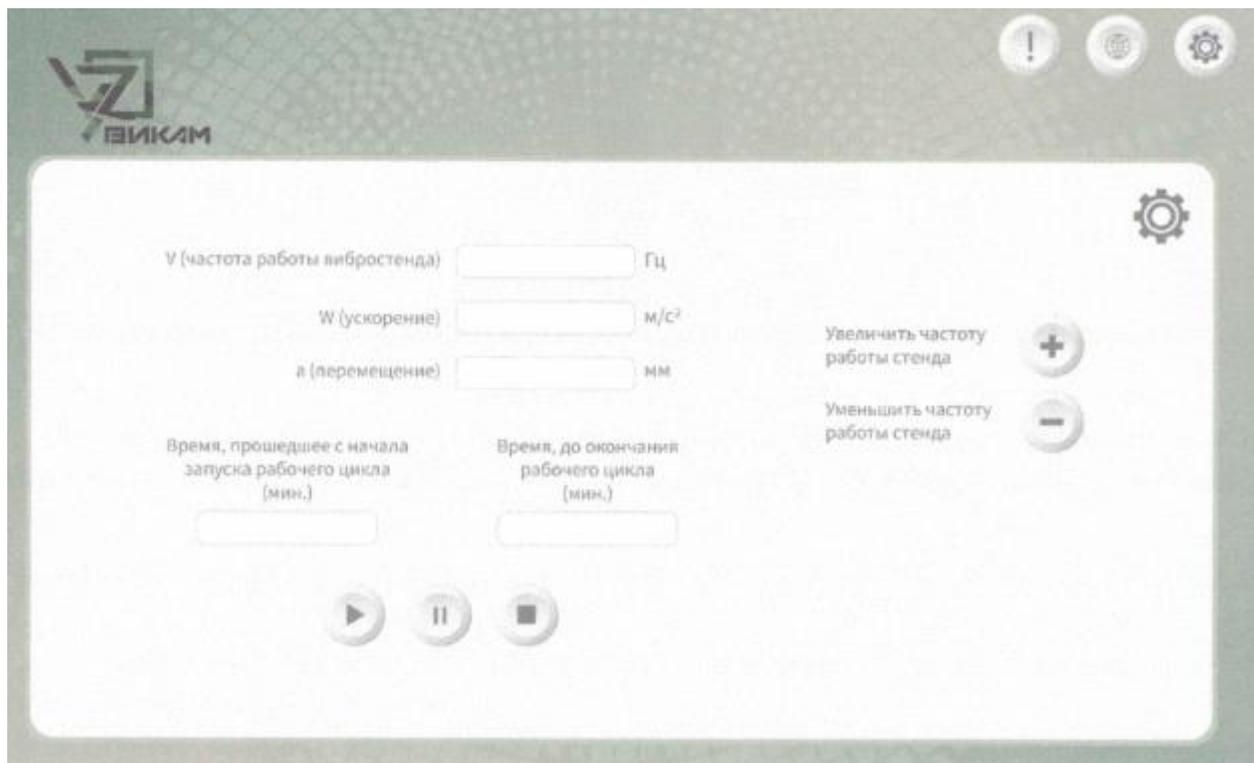


Рисунок 9.6 – Режим работы

После нажатия кнопки «Запуск», оператор переходит к окну запуска программы.

Для начала испытания оператор должен нажать кнопку «Play».

Затем система начнет работу, в окне оператор может наблюдать заданную частоту, расчетное ускорение, время, прошедшее с начала запуска, время до окончания, номер текущего цикла и количество оставшихся.

При нажатии на кнопку «Выбор режима» оператор переходит в окно, в котором может изменить режим работы вибростенда.

При нажатии на кнопку «Pause» система останавливает процесс испытания с возможностью его возобновления.

При нажатии на кнопку «Stop» система полностью остановит процесс испытания.

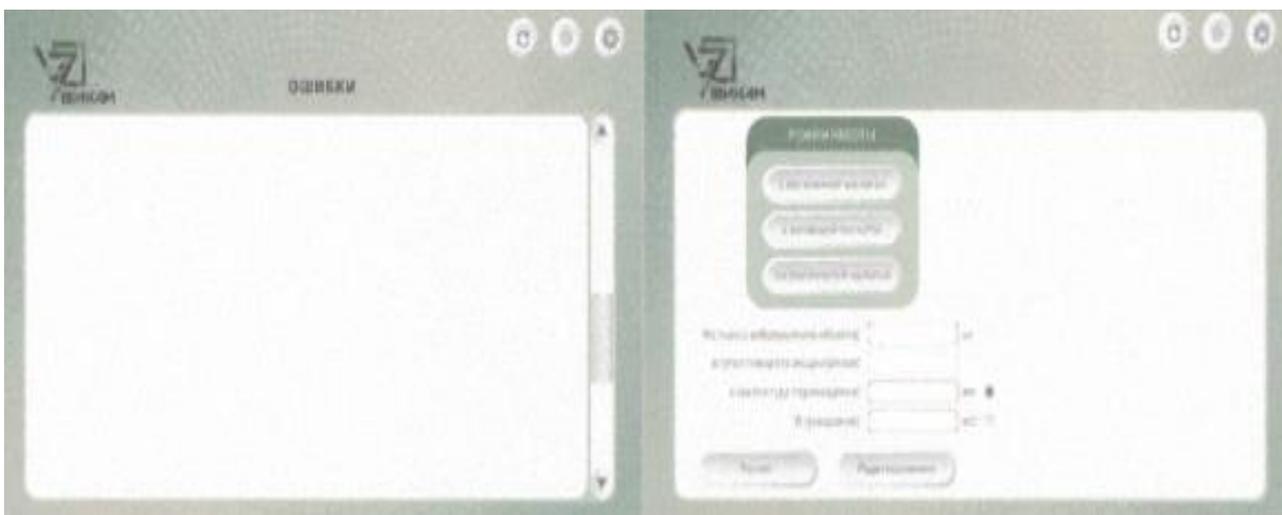


Рисунок 9.7 –Дополнительные элементы

При не корректном введении исходных данных или при введении данных, которые не соответствуют возможностям вибростенда система выводит ошибку, ячейки с возможной

ошибкой подсвечиваются красным. Также вверху отображается знак «Восклицания» при нажатии, на который можно ознакомиться с ошибкой. Также при нажатии на данную «Возврат» кнопку происходит сброс ошибки.

В случаях возникновения ошибок, которые не устраняются программным сбросом, рекомендуем выключить установку и заново ее включить.

«Планета» - данная кнопка служит для включения режима удаленного управления через ПК подключенный к вибростенду. В активном режиме она становится ярче.

«Шестеренка» - данная кнопка является сервисной и используется только производителем.

9.1.4. Регулировка дебалансов

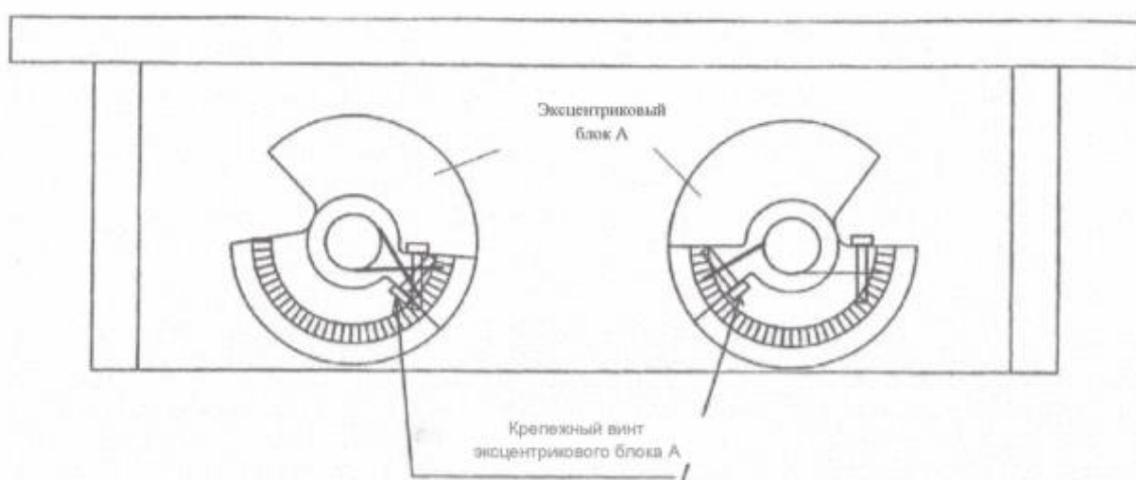


Рисунок 9.8 – Регулировка дебалансов

После нажатия кнопки «Расчет», происходит расчет угла, который необходимо выставить на всех четырех дебалансах. Дольки дебалансов фиксируются винтами. Для ослабления применяются шестигранники. После ослабления винта передняя долька дебаланса устанавливается относительно расчетного угла. Правильное положение дебалансов в сборке рисунок 7. Следует обратить внимание при установке дебалансов на их совместное расположение. Угол 170° смотрят друг на друга внутрь. Раствор дебалансов также смотрят внутрь друг на друга. Обратите внимание на рисунке 7 по какому краю выставляется угол с на обоих дебалансах.

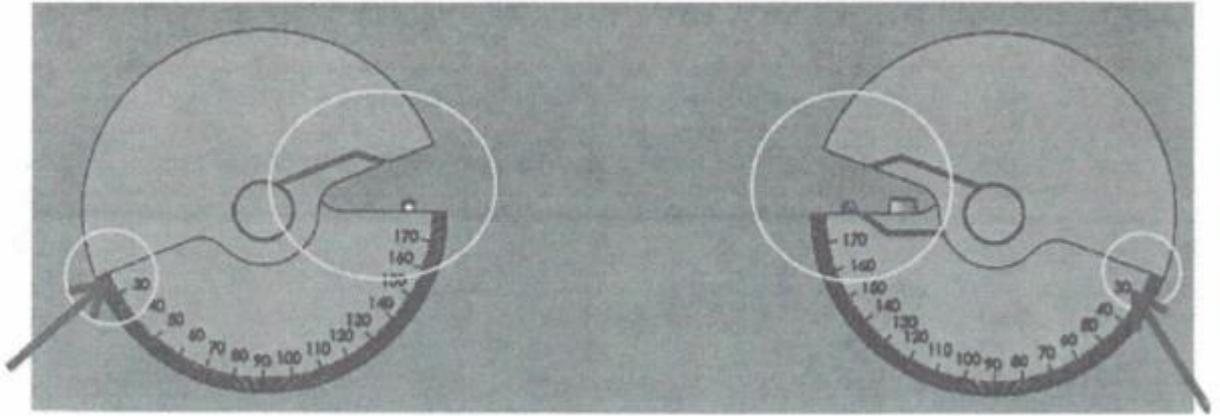


Рисунок 9.9 – Дебаланс

Задние дольки дебалансов не регулируются. Они служат базой для выставления угла.

Их положение определяется относительно вспомогательных отверстий в столе рисунка 8.

Их требуемое взаимное расположение также указано на рисунке 9.8.

Значение углов является расчетной величиной, в следствие чего допускается корректировка регулируемого угла дебаланса для достижения необходимого режима работы.

Данные доли дебаланса также обладают фиксирующим винтом. В процессе штатной работы вибростенда не регулируются. Перед каждым запуском визуально необходимо проверять правильность положения данных долек дебаланса. При неправильном положении, на данных дебалансах фиксирующие винты ослабляются и происходит выставление их относительно центрующих отверстий. Зазор между столом и задним дебалансом примерно 5 мм рисунок 9.8.

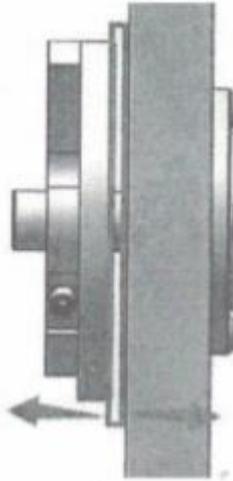
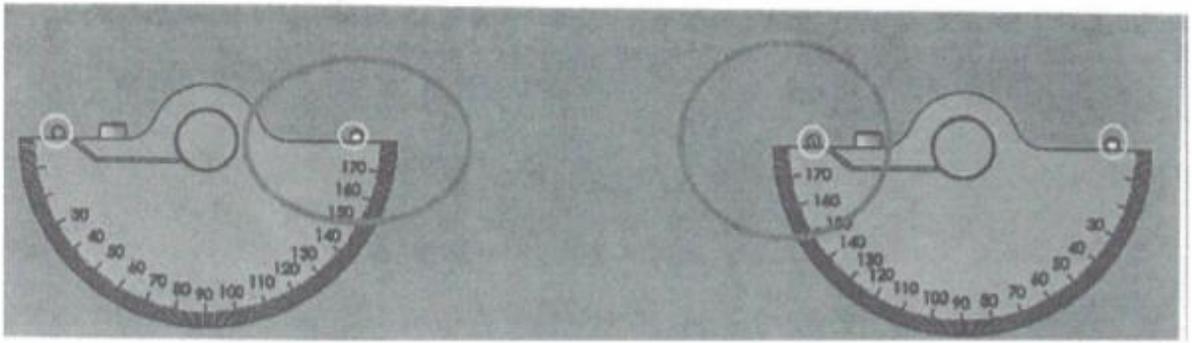


Рисунок 9.10 – Задние дольки дебалансов

9.1.5. Работа с ремнем

При возникновении нештатных ситуация с ремнем, необходимо открутить винты на натяжном устройстве и тем самым ослабить ремень, что позволит проводить на ним работы (Рисунок 9.5)

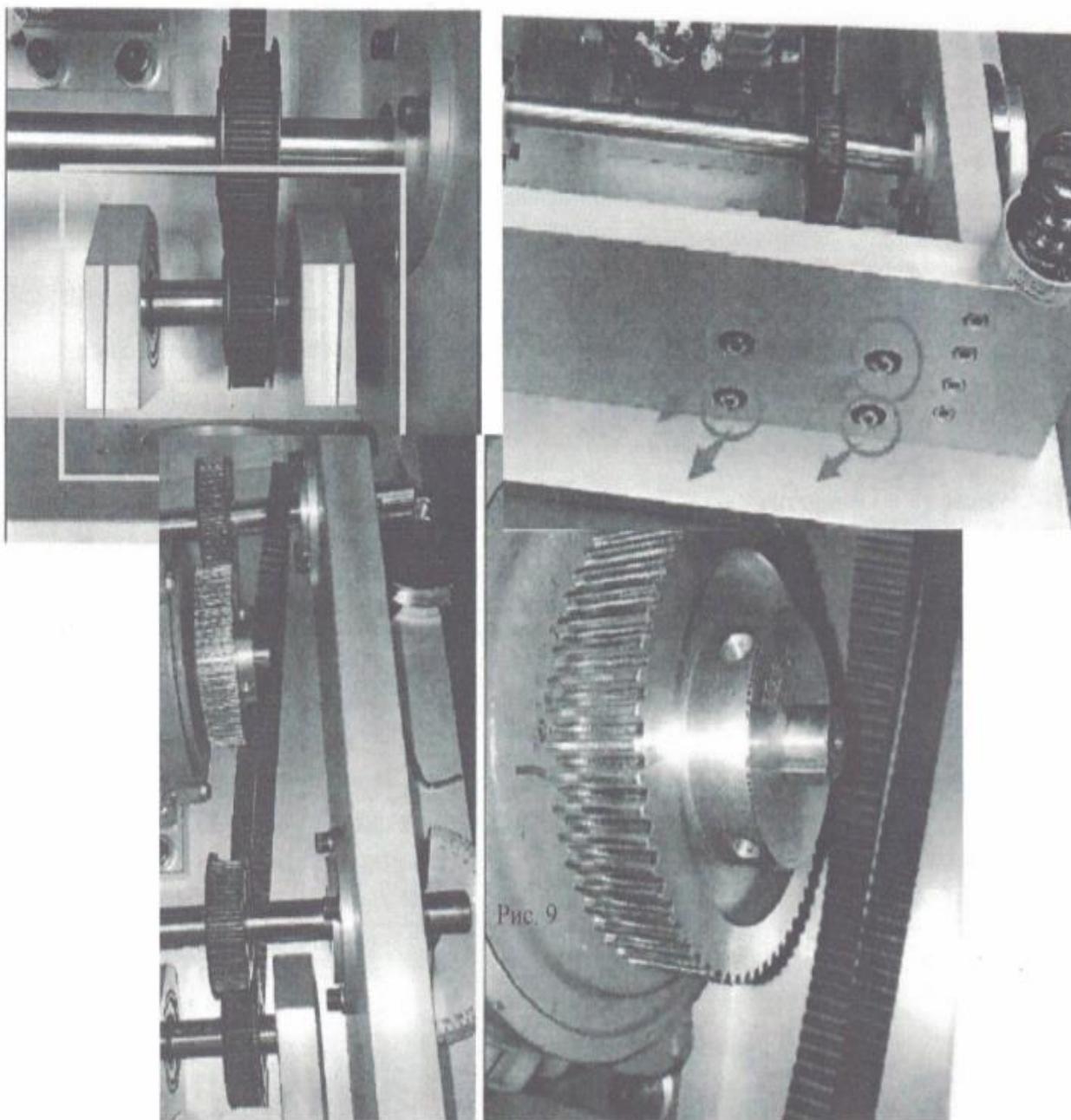


Рисунок 9.11 – Работы с ремнем

9.1.6. Сервис

В процессе эксплуатации оборудования раз в 2 недели необходим визуальный осмотр винтовых соединений на предмет раскручивания последних. При наличии раскрученного винта использовать шестигранник и затянуть винт.

Перед каждым запуском необходимо проверять правильное положение пружин, они должны быть закреплены к столу и станине, фиксация жесткая,

положение пружин вертикальное.

Использование смазочных материалов не требуется

При возникновении биения стола остановить работу установки и проверить положение дебалансов согласно приведенной ниже информации, а также проверить правильность выставления одинакового угла на всех четырех дебалансах.

Установка должна регулярно отчищаться от грязи и пыли

Для фиксации колес вибростенда необходимо нажать на соответствующие стопоры на них, противоположные действия необходимо сделать для разблокировки колес.

9.1.7. Инструкция для предотвращения нештатных ситуаций в процессе эксплуатации электромеханического вибростенда

Нельзя эксплуатировать вибростенд без защитной пластины, закрывающей дебалансы.

Запрещается вставлять посторонние предметы или части тела в стенд в процессе его работы.

Вибростенд должен использоваться строго по назначению, запрещено вставать на вибростенд.

Проводить работы по регулированию, настройке и запуску рекомендуется одному оператору, для предотвращения не скоординированных действий.

Запрещено запускать вибростенд если проводятся работы по регулированию дебалансов или иные работы с вибростендом.

9.1.8. Требования к охране окружающей среды и утилизации

При производстве продукции отходов, представляющих опасность для окружающей среды, не образуется.

Основным видом возможного опасного воздействия на окружающую среду является загрязнение атмосферного воздуха населенных мест, почв и вод в результате:

неорганизованного захоронения отходов материалов на территории предприятия-изготовителя или вне его;

произвольной свалки их в не предназначенных для этой целей местах.

Вибростенды и материалы, используемые при их изготовлении, не представляют опасности для жизни, здоровья людей и окружающей среды, как в процессе эксплуатации, так и после его окончания.

Отходы производства утилизируются в соответствии с порядком накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения промышленных отходов согласно Федеральному закону «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № М 52-ФЗ от 30.03.1999., ГОСТ 30775 и СанПиН 2.1.7.1322-03.

При утилизации отходов материалов, а также при обустройстве приточно-вытяжной вентиляции рабочих помещений должны соблюдаться требования по охране природы согласно ГОСТ 17.1.1.01, ГОСТ 17.1.3.13, ГОСТ 17.2.3.02 и ГОСТ 17.2.1.04.

Допускается утилизацию отходов материалов в процессе производства осуществлять на договорной основе с фирмой, имеющей надлежащую лицензию.

Содержание вредных веществ в выбросах в атмосферу, сбросах в водоемы и загрязнения почвы в соответствии с «Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий», МУ 2.1.7.730.

9.1.9. Влияние на результаты испытаний места, способа монтажа, условий окружающей среды и других внешних воздействий.

Монтаж испытательного оборудования должен быть произведен в чистом, не запыленном помещении, без присутствия в воздухе агрессивных газов, токопроводящих и иных сред.

Поверхность установки должна быть ровной

Электропитание 220В±10%, 50Гц, земля

Температура: НУ, Влажность <80% без образования конденсата

В сети не должны присутствовать высокочастотные и низкочастотные гармоники

Установка должна быть размещена на достаточном удалении от трансформаторных подстанций/ генераторов так как они могут создавать

искажения в питающей сети.

9.1.10. Внешний вид вибростенды с основными размерами

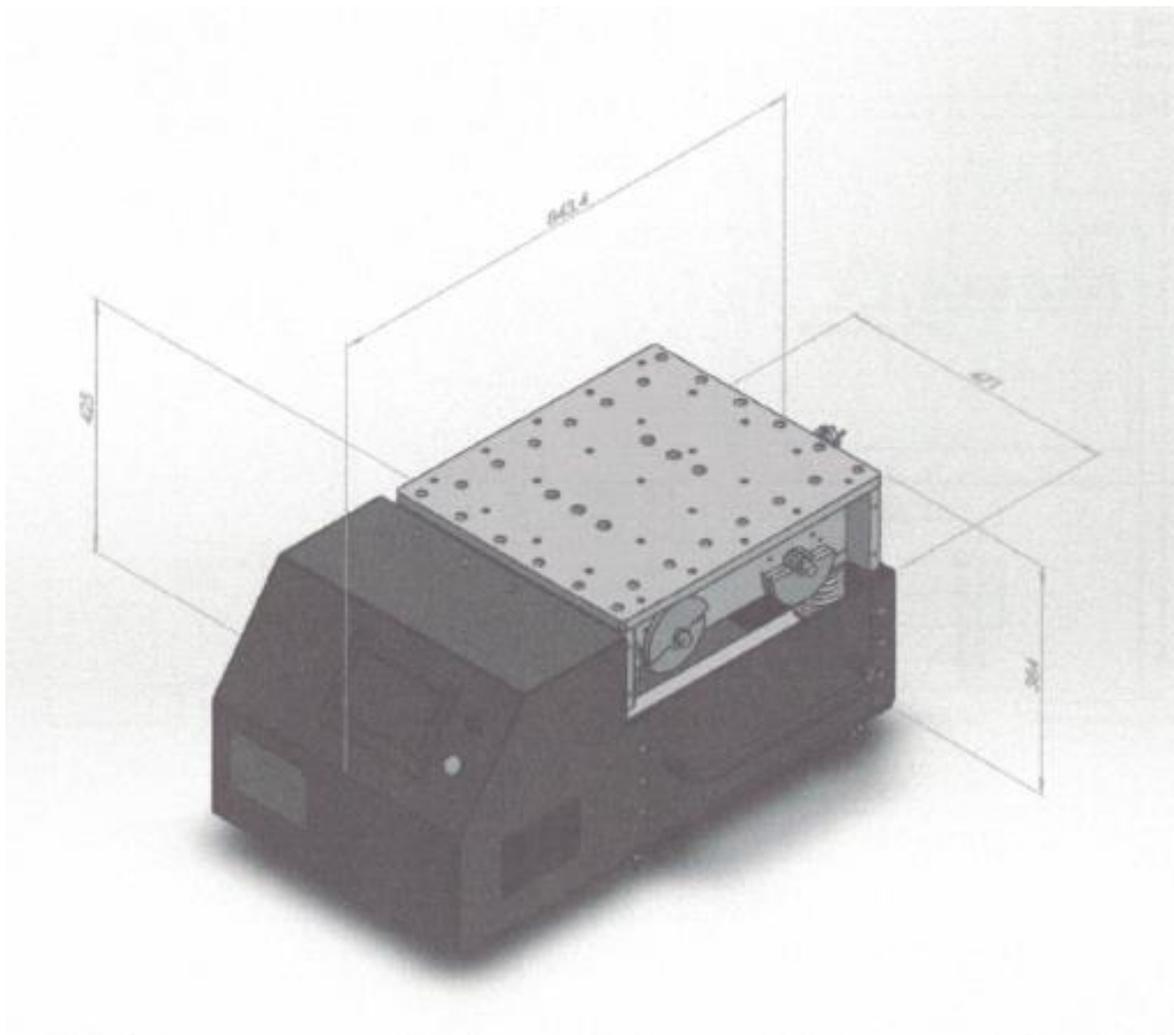


Рисунок 9.12 – Внешний вид вибростенды с основными размерами

9.1.11. Электрическая схема подключения

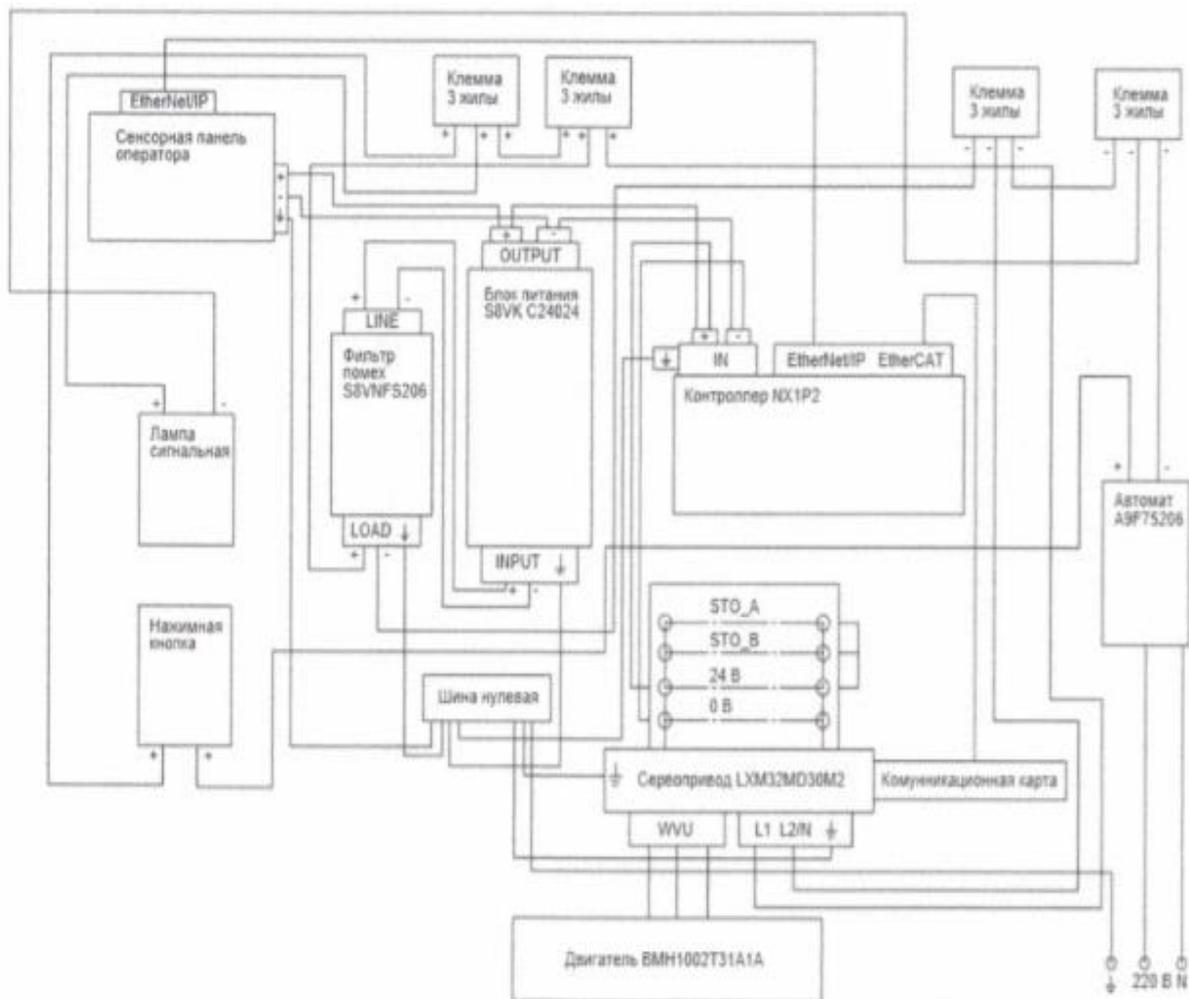


Рисунок 9.13 – Электрическая схема подключения

9.1.12. Схема разметки на рабочем столе расположения датчиков для проведения аттестации

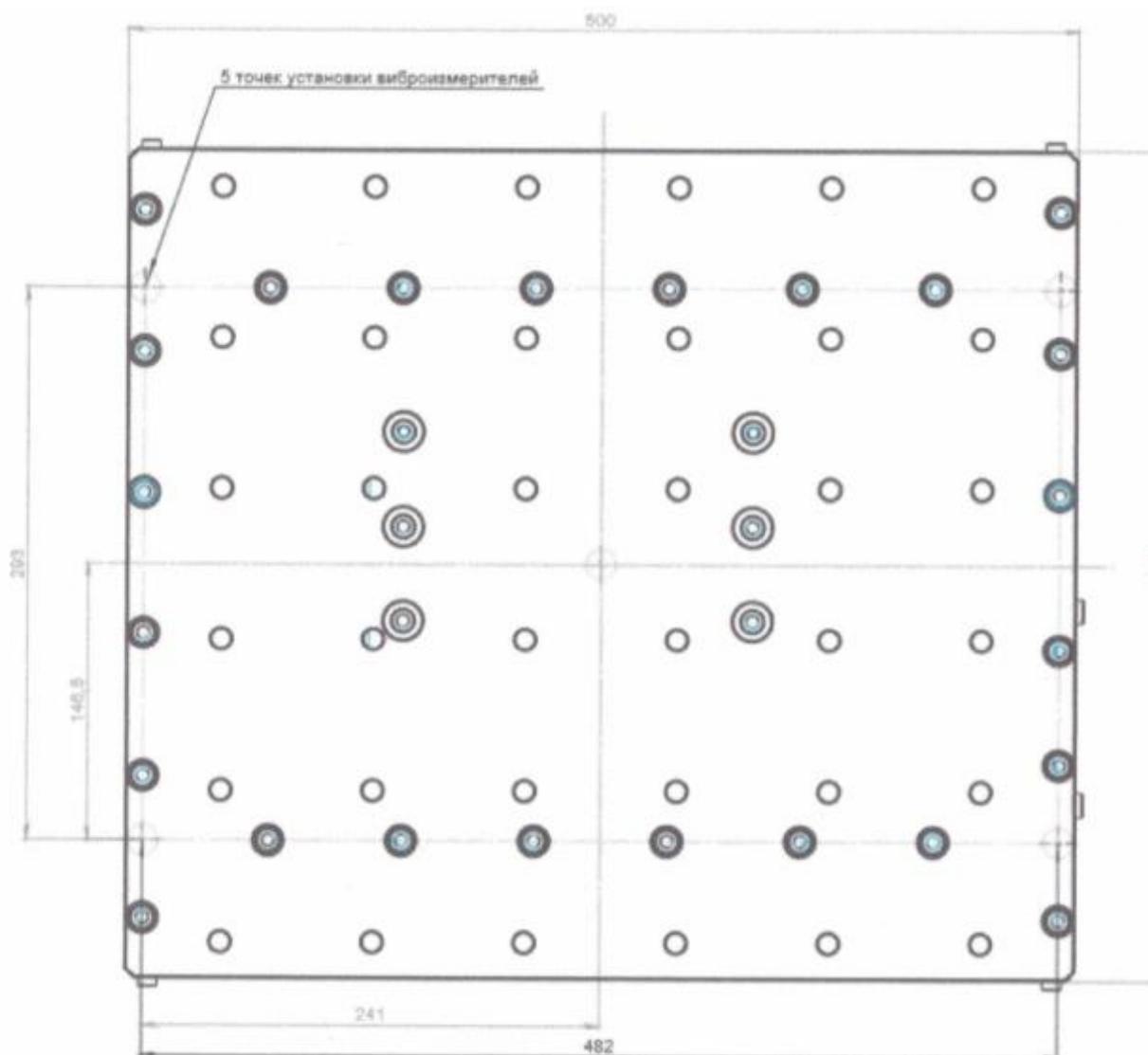


Рисунок 9.14 – Схема разметки на рабочем столе расположения датчиков для проведения аттестации

9.1.13. Требования безопасности

При эксплуатации необходимо соблюдать правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) и межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ).

Запрещается эксплуатация изделия без заземления.

Производственные процессы разрешается проводить лицам, получившим

подробный инструктаж по технике безопасности, подробно изучившим устройство изделия и порядок работы на нем.

Любые работы по техническому обслуживанию необходимо выполнять исключительно при неработающем оборудовании.

При монтаже требуется соблюдать правила безопасности погрузки и разгрузки всех составляющих. После монтажа изделия на месте эксплуатации необходимо заземлить путем присоединения к общецеховому контуру заземления рамы, двигателя, пульт управления. Особое внимание уделить работоспособности кнопок управления и исполнительных механизмов. Все конечные выключатели должны быть надежно закреплены. Не допускается эксплуатировать неисправное оборудование.

При работе с продукцией в зависимости от назначения и условий эксплуатации должна быть предусмотрена защита обслуживающего персонала от воздействия следующих опасных и вредных производственных факторов:

- повышенного давления рабочей среды;

- взрывов и загораний, применяемых в технологическом процессе веществ и материалов;

- повышенного содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны;

- опасных значений электрического тока и высоких потенциалов статического электричества;

- соприкосновения персонала с движущимися и горячими частями;

- повышенного шума и вибрации.

Защитные ограждения (при их наличии) следует выполнять из листового материала. В обоснованных случаях допускается устройство защитных ограждений из металлической сетки с ячейками не более 10 мм.

Сигнальная окраска - по ГОСТ 12.4.026.

Форма изделия определяется технической целесообразностью и отражает эстетические представления о формообразовании продукции данного типа.

10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Координатная измерительная машина с числовым программным управлением модели НИИК-701.

ВНИМАНИЕ:

Обязательно прочтите данное руководство по эксплуатации до того, как вы начнёте эксплуатировать координатную измерительную машину (КИМ) с числовым программным управлением (ЧПУ).

Общий вид учебного лабораторного комплекса приведен на рисунках 10.1 и 10.2.



Рисунок 10.1 – Общий вид учебного лабораторного комплекса КИМ с ЧПУ НИИК-701 (базовый вариант)



10 Оптический узел (цифровая видеокамера)
11 Осветительное устройство

Рисунок 10.2 – Общий вид учебного лабораторного комплекса КИМ с ЧПУ НИИК-701-01 (базовый вариант, дополнительно оснащенный оптическим узлом и осветительным устройством)

Описание и работа изделия

Назначение изделия

КИМ с ЧПУ предназначена для измерения геометрических параметров объектов (деталей) путем измерения координат отдельных точек поверхностей объекта в принятой системе координат (прямоугольной декартовой) и последующей математической обработки измеренных координат для определения линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения.

Исполнение КИМ с ЧПУ, дополнительно оснащенное оптическим узлом и осветительным устройством, позволяет проводить неразрушающий контроль плоских, легко деформируемых деталей.

Функциональные возможности учебного лабораторного комплекса позволяют обучаемым получить практические навыки работы с современными КИМ, закрепить теоретические знания, научиться проектировать эффективные процессы технического контроля.

Нормальные условия применения:

Температура окружающего воздуха, °C 20 ± 2 .

Относительная влажность окружающего воздуха, % 58 ± 20 .

Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) 101 ± 3 (760 ± 30).

Рабочие условия применения:

Температура окружающего воздуха, °C от +17 до +30.

Верхнее значение относительной влажности воздуха при температуре 25 °C, % 80.

Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) от 86 до 106,7 (от 650 до 800).

Внимание:

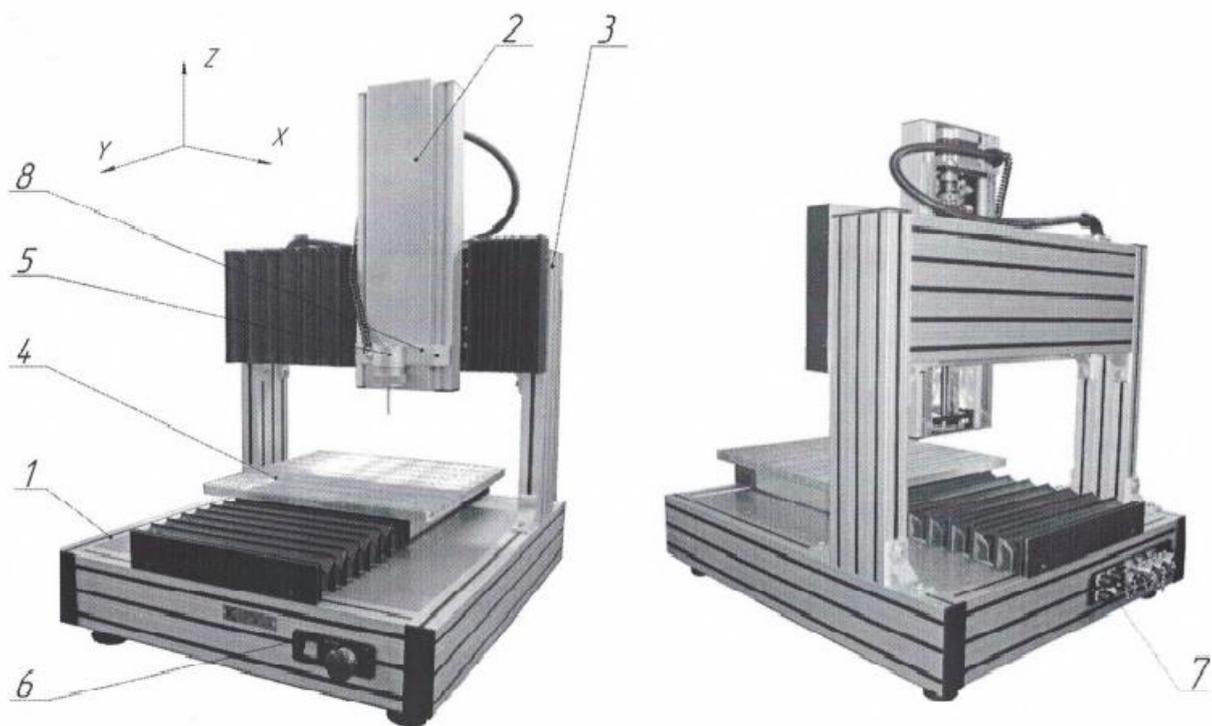
КИМ должна использоваться только для определения геометрических размеров деталей и не должна выполнять никакие другие функции.

На измерительном столе должны располагаться только детали и предметы, предназначенные для измерения.

За повреждения из-за ненадлежащего использования несёт ответственность только пользователь.

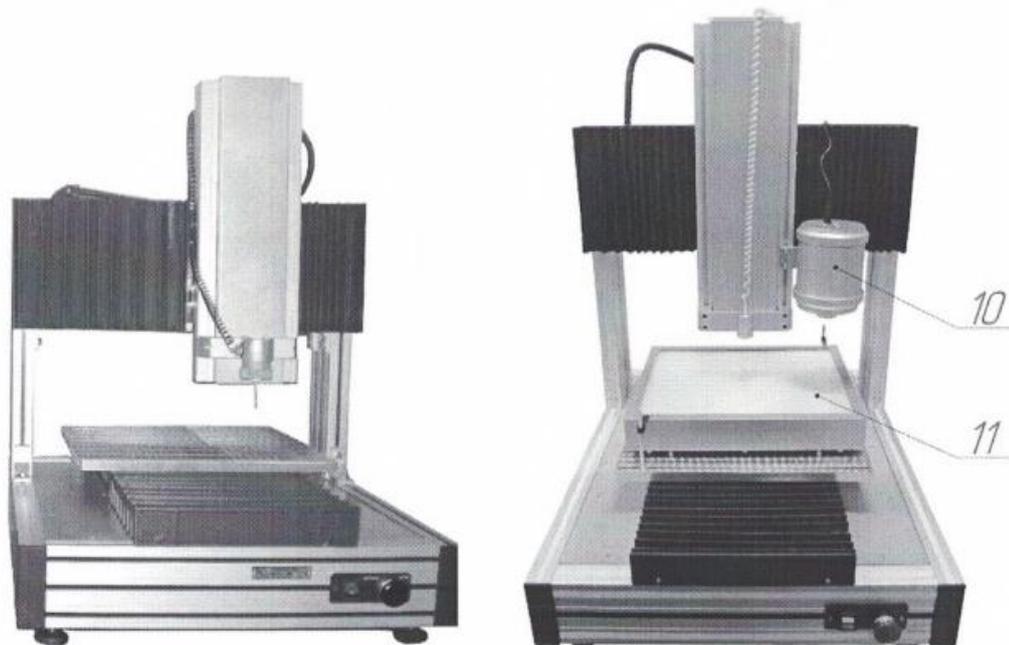
К работе на КИМ допускаются специалисты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и ознакомившиеся с настоящим руководством по эксплуатации.

Технические характеристики



- | | |
|----------------|----------------------|
| 1 Станина | 5 Контактная головка |
| 2 Стойка | 6 Передняя панель |
| 3 Портал | 7 Задняя панель |
| 4 Рабочий стол | 8 Планка |

Рисунок 10.3 – Общий вид КИМ модели НИИК-701



- | |
|---|
| 10 Оптический узел (цифровая видеокамера) |
| 11 Осветительное устройство |

Рисунок 10.4 – Общий вид КИМ НИИК-701-01

Таблица 10.1 – Основные параметры и характеристики

Наименование	Значение	
	НИИК-701.00.000	НИИК-701.00.000-01
Рабочая зона, не менее - по оси X, мм - по оси Y, мм - по оси Z, мм	300 350 150	
Размер контролируемой детали, мм, не более Вес детали, кг, не более	250x300x100 20	
Модуль измеряемых зубчатых колес - при использовании штатного датчика - при использовании датчика Ranishaw	4 2	
Наибольшая подача в режиме холостого хода, мм/с	50	
Усилие при перемещении по трем осям координат при подаче 10 мм/с, Н, не более	120	
Потребляемая мощность, Вт, не более	150	
Электрическое питание КИМ - напряжение, В - частота, Гц	220 50	
Минимальные системные требования программного обеспечения КИМ - процессор - оперативная память, Гб min рекомендуемое - операционная система - оптический привод	Intel Core Duo 2 4 MS Windows 7 DVD±R	

Наименование	Значение	
	НИИК- 701.00.000	НИИК- 701.00.000-01
- видеокарта	NVIDIA GeForce 8600GTS	
- свободное место на жестком диске, Гб, min	4-5	
- электронный учебник, Гб, не менее	15	
- интернет-браузер	MS Internet-Explorer 8.0	
Длина преобразуемого перемещения		
- по оси X, мм	350	
- по оси Y, мм	400	
- по оси Z, мм	200	
Дискретность, мкм	1	
Максимальная скорость перемещения, м/мин	120	
Цифровая видеокамера DCM-510с осветительным устройством		
- чувствительный элемент камеры, мегапиксель	—	5
- интерфейс	—	USB
- диагональ осветительного устройства, дюйм	—	15
- яркость осветительного устройства, кд/м ²	—	250
- потребляемая мощность осветительного устройства, Вт	—	100
- габариты осветительного устройства, мм, не более	—	430x420x100
- масса осветительного устройства, кг, не бол	—	7
Габаритные размеры КИМ, мм, не более	700x850x950	
Масса КИМ, кг, не более	90	100

Состав изделия и комплектность

КИМ с ЧПУ состоит из следующих составных частей:

- станина (поз. 1);
- рабочий стол (поз. 4);
- контактная измерительная головка (поз. 5);
- оптический узел (видеокамера) (поз. 10);
- осветительное устройство (поз. 11);
- персональный компьютер.

Устройство и работа

Учебный лабораторный комплекс базовой комплектации НИИК-701.00.000 состоит из КИМ, которая служит для базирования и проведения координатных измерений, и электронной части, в состав которой входит персональный компьютер (ПК) 3,4,5,6 и блок управления 2 (рисунок 10.1). Исполнение НИИК-701.00.000-01 помимо базовых составляющих дополнительно оснащено цифровой видеокамерой с телецентрическим объективом и осветительным устройством (рисунок 10.2).

Включение - выключение КИМ осуществляется с помощью кнопки 1 (рисунок 10.6), расположенной на передней панели 6 (рисунок 10.3). На передней панели так же расположена кнопка аварийной остановки 2 (рисунок 10.6). Кнопка снабжена функцией фиксации. После нажатия на кнопку происходит размыкание цепи питания контроллера шаговых двигателей, что приводит к аварийной остановке. Для восстановления работоспособности нужно еще раз нажать на кнопку и перезапустить программу.

Каркас КИМ изготовлен из упрочнённого, термообработанного алюминиевого профиля, что в сочетании с порталной конструкцией обеспечивает большую жесткость прибора. На направляющих качения станины 1 расположен рабочий стол 4. К станине 1 крепится портал 3. На ребрах станины 1 крепятся направляющие качения и измерительные линейки. Преобразователи линейных перемещений крепятся с помощью закладных гаек в Т-образные пазы

алюминиевого профиля. Данные преобразователи, расположенные вдоль осей, образуют декартову (прямоугольную) систему координат.

На направляющих качения портала 3 размещена стойка 2, которая может перемещаться в двух взаимно - перпендикулярных направлениях. К стойке 2 при помощи планки 8 крепится контактная измерительная головка 5 с наконечником.

В случае использования НИИК-701.00.000-01 на стойке 2 сбоку дополнительно размещен оптический узел 10, который может перемещаться вверх и вниз вместе со стойкой.

При использовании для измерений оптического узла устанавливается осветительное устройство 11 на рабочий стол 4. Осветительное устройство крепится к рабочему столу 4 двумя планками с помощью закладных гаек и шпилек в соответствии с рисунком 5. На осветительное устройство кладутся плоские, легко деформированные детали, и проводится измерение.

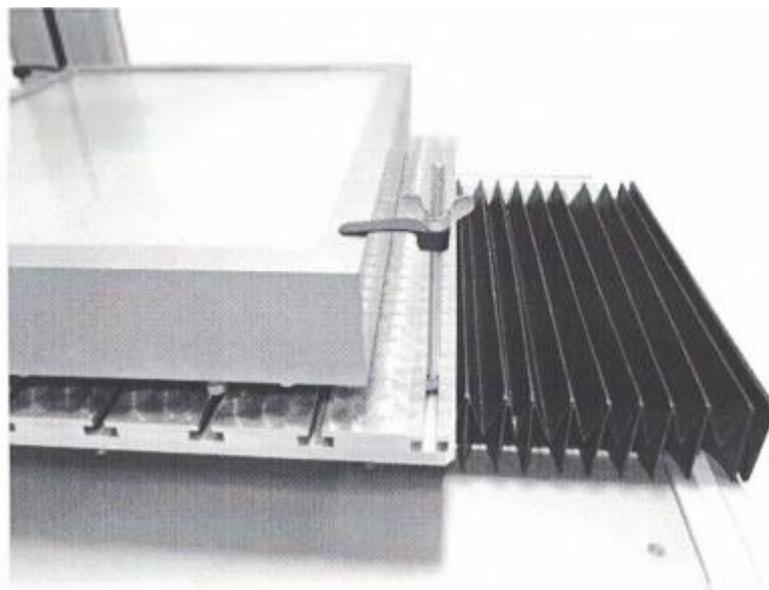


Рисунок 10.5 – Крепление осветительного устройства к рабочему столу

При измерении оптическим узлом изображение изделия наблюдается на экране монитора компьютера. Изображение изделия совмещается с изображением штриховых линий сетки оптического узла перемещениями стойки 2 по координатным осям X и Z. Фиксирование координат измеренной точки производится клавишей монитора «Измерить одну точку».

КИМ с ЧПУ с оптическим узлом обеспечивает бесконтактные измерения заданных координат точек, расположенных на измеряемых поверхностях деталей. Система требует особо осторожного обращения. Она позволяет точно позиционировать, регистрировать отклонение размера и передавать сигнал на компьютер. Компьютер запоминает координаты измеренной точки, считывая их с преобразователей линейных перемещений. Далее массив измеренных точек преобразуется в соответствии с программным обеспечением (ПО) в необходимые геометрические величины.

При использовании базовой комплектации КИМ с ЧПУ измерительный наконечник устанавливается в контактную головку и обеспечиваются контактные измерения заданных координат точек, расположенных на измеряемых поверхностях деталей. Контактная головка требует особо осторожного обращения. Она позволяет точно позиционировать, регистрировать отклонение измерительного наконечника и передавать сигнал на компьютер. Компьютер запоминает координаты измеренной точки, считывая их с преобразователей линейных перемещений. Далее массив измеренных точек преобразуется в соответствии с программным обеспечением (ПО) в необходимые геометрические величины.

Необходимые для контроля линейные перемещения вдоль осей X, Y, Z рабочего стола 4 и контактной головки 5 относительно друг друга осуществляется за счет независимого линейного перемещения подвижных частей КИМ. Рабочий стол перемещается в возвратно-поступательном направлении.

В качестве привода для перемещения вдоль каждой оси координат используется двухфазный шаговый двигатель, вращательное движение которого преобразуется в линейное перемещение посредством шарико-винтовой передачи.

На рабочем столе 4 Т-образные пазы используются для закрепления прижимов и приспособлений. Измеряемая деталь должна быть закреплена на рабочем столе 4.



1 Кнопка включения-выключения
2 Кнопка аварийная

Рисунок 10.6 – Передняя панель

2. Описание и работа составных частей изделия

2.1 Общие сведения

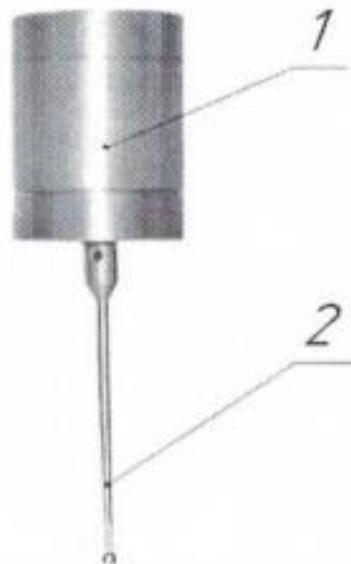
Составными частями КИМ являются контактная измерительная головка, оптический узел, осветительное устройство.

Контактная измерительная головка 5 с планкой 8 (рисунок 10.3) расположена и перемещается вверх, вниз совместно со стойкой 2. Контактную измерительную головку с планкой и оптический узел ЗАПРЕЩАЕТСЯ снимать со стойки, т.к. нарушаются первоначальные заводские настройки.

Измерительная головка фиксирует координаты точек касания и передает сигнал касания на компьютер, который обчисляет в соответствии с программой необходимые геометрические величины измеряемой детали.

2.2 Устройство и работа составных частей КИМ

Контактная головка 1 (рисунок 10.7) функционирует следующим образом: при касании измерительным наконечником 2 измеряемой поверхности происходит разрыв электрической цепи контактной головки, механически связанной с наконечником. Контактная головка выполнена так, что отклонение наконечника по любой из трех координат вызывает размыкание её электрической цепи.



1 Контактная измерительная головка
2 Измерительный наконечник

Рисунок 10.7 – Общий вид контактной измерительной головки

Устройство контактной головки показано на рисунке ниже. Основание 3 и шайба 9 закреплены между собой через стойки 8. В основание 3 вставляется крестовина 2 с закреплёнными через 120° , электрически изолированными друг от друга, цилиндрическими штифтами 10. С одного конца крестовины 2 вкручивается измерительный наконечник, а с другой стороны, через шарик 22 подходит подпружиненный пружиной 5 конус 1.

На основании 3 через 120° закреплены три пары стержней 7 с шариками 23, образующими базовые призмы. В этих призмах базируются три штифта 10 крестовины 2.

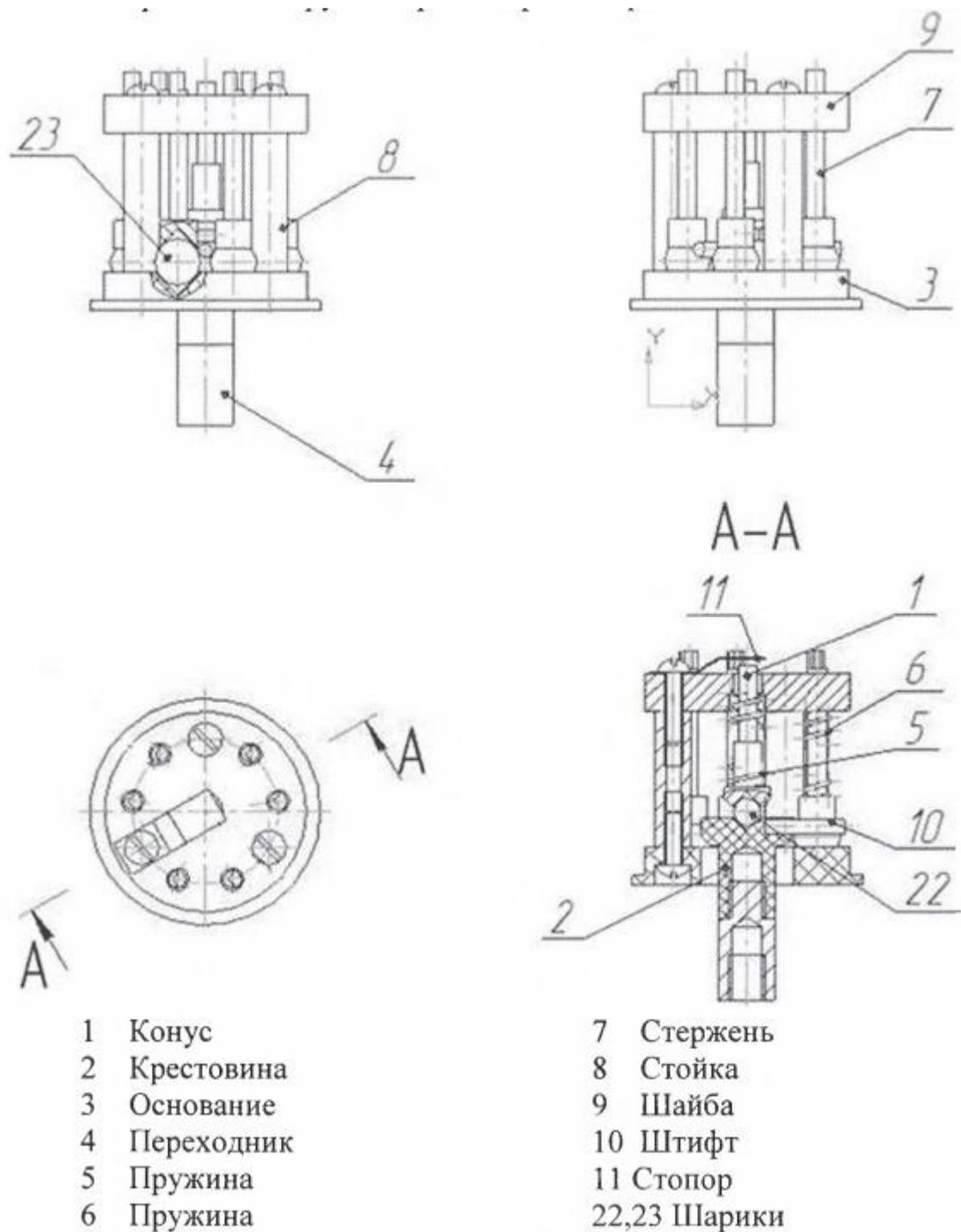


Рисунок 10.8 – Устройство контактной головки

Основание 3 и шайба 9 закреплены между собой через стойки 8. В основание 3 вставляется крестовина 2 с закреплёнными через 120° , электрически изолированными друг от друга, цилиндрическими штифтами 10. С одного конца крестовины 2 вкручивается переходник 4, а с другой стороны через шарик 22 подходит подпружиненный пружиной 5 конус 1.

На основании 3 через 120° закреплены три пары стержней 7 с шариками 23, образующими базовые призмы. В этих призмах базируется три штифта 10 крестовины 2.

В переходник 4 вкручивается измерительный наконечник.

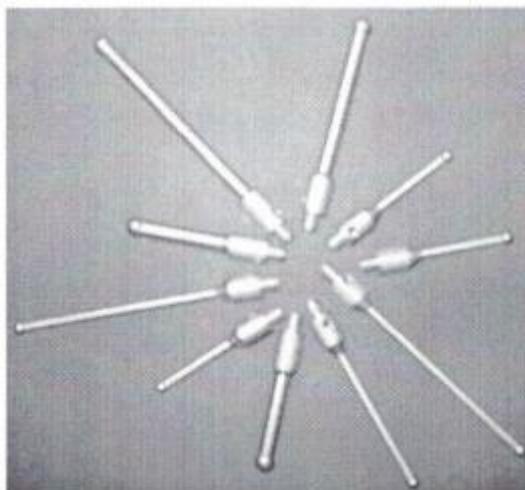


Рисунок 10.9 – Измерительные наконечники

В нейтральном положении крестовины 2 все шарики 23 соединены последовательно друг с другом через штифты 10. При приложении усилия к измерительному наконечнику электрическая цепь, образованная шариками и штифтами, разрывается хотя бы в одной из шести точек контакта, что и служит рабочим электрическим сигналом. При перемещении крестовины выше рабочего диапазона происходит замыкание подвижного конуса 1, установленного на крестовине, со стопором 11 и выдается аварийный электрический сигнал, используемый для остановки КИМ.

Измерительный наконечник представляет собой ту часть системы, которая, соприкасаясь с деталью, вызывает смещение механизма в контактной головке. Генерируемый сигнал обеспечивает фиксацию фактических текущих координат по осям X, Y и Z.

Оптический узел состоит из цифровой видеокамеры и телецентрического объектива, которые вставляются в пластиковый корпус 1 (рисунок 10.10). Корпус через планку 3 крепится с помощью закладных гаек и винтов в Т-

образные пазы стойки 2. На верхней крышке оптического узла находится USB-порт 2 для подключения кабеля коммутации к ПК. Снизу с корпуса оптического узла выходит телецентрический объектив 4, который первоначально настроен и выставлен, поэтому ЗАПРЕЩАЕТСЯ его крутить.



Рисунок 10.10 – Общий вид оптического узла

Осветительное устройство состоит из светодиодной панели и блока питания, которые находятся в алюминиевом корпусе 1. На задней панели корпуса располагаются кнопка включения/выключения 2 и розетка 3 (220 В) (рисунок 10.11).



Рисунок 10.11 – Общий вид осветительного устройства

Использование по назначению

Эксплуатационные ограничения

КИМ установить на надежное основание, обеспечивающее удобный доступ к рабочей зоне и всем органам управления. Не допускаются прогибы, шатания, вибрации при работе.

Для подключения электропитания КИМ, электрическая проводка должна находиться в непосредственной близости от места установки. Обязательно использовать РОЗЕТКИ С ЗАЗЕМЛЕНИЕМ! КИМ подключать через сетевой фильтр типа «Pilot» и использовать источники бесперебойного питания соответствующей мощности.

Перед проведением измерений на КИМ, все детали и составные узлы машины должны прогреться в течение не менее 15 минут. Нормальная температура для проведения измерений на КИМ (20 ± 2) °С. Допускается проводить учебные измерения при рабочей температуре от +17 до +30 °С. Для выравнивания температуры измеряемой детали и узлов КИМ необходимо разместить детали рядом с КИМ не менее чем за сутки до проведения измерений.

Визуальный контроль должен быть составной частью запланированных работ при пусконаладке и в повседневном режиме измерения. КИМ разрешается эксплуатировать только тогда, когда составные части КИМ не имеют внешних механических повреждений. Кабели должны быть в безупречном состоянии. Они не должны иметь перегибов и повреждений.

Если обнаружались какие-либо неисправности, КИМ не включать в сеть до их устранения.

Подготовка изделия к использованию

Меры безопасности при подготовке изделия

К работе с изделием допускаются операторы, прошедшие инструктаж по технике безопасности, обладающие опытом работы с контрольно-измерительными приборами и ознакомившиеся с настоящим руководством по эксплуатации.

При подготовке к работе следует соблюдать правила пожарной безопасности, установленные для работы с легковоспламеняющимися жидкостями, к которым относится нефрас, используемый для промывки изделий.

В помещении, где проводят промывку, должны быть предупредительные знаки.

Запрещено пользоваться открытым огнём, применять электробытовые приборы.

Учитывать общепризнанные правила по предупреждению несчастных случаев и указания по безопасности.

КИМ должна эксплуатироваться со всеми предусмотренными защитными устройствами.

Не удалять детали облицовки, гофрированную защиту при включённой КИМ.

Использовать только сетевой кабель и штекер в безупречном состоянии.

Сетевой штекер вставлять только в розетку, которая оснащена защитным заземлением.

Учитывать максимально допустимый вес детали.

Запрещается производить осмотр и ремонт изделия под напряжением.

Проверка готовности изделия к использованию

К самостоятельной эксплуатации КИМ допускаются специалисты, ознакомленные с настоящим руководством по эксплуатации, а также имеющие навыки работы с автоматизированным оборудованием.

Внимание: не допускаются к работе студенты, выполняющие лабораторные работы, без контроля преподавателя или подготовленного технического специалиста.

Использование изделия.

Работа и процесс измерения деталей на КИМ

Режимы работы

Учебный лабораторный комплекс обеспечивает режимы работы, аналогичные промышленным моделям координатных измерительных машин. КИМ может работать:

- В ручном режиме с управлением от пульта (джойстика).
- В автоматическом режиме по управляющей программе, с помощью специализированного программного обеспечения - «ТехноКоорд».

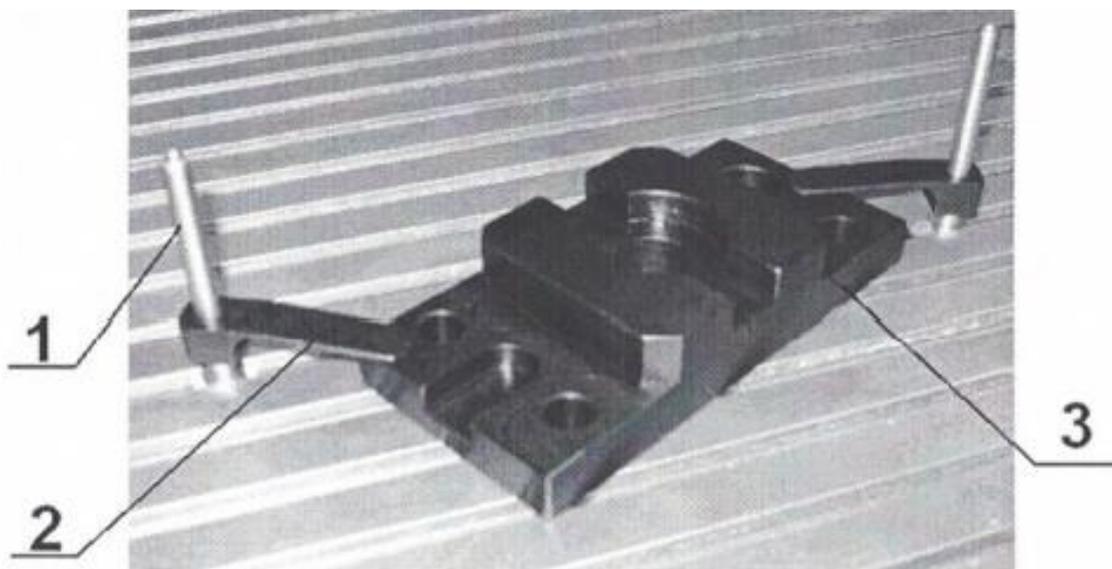
Программное обеспечение

Для реализации возможности координатных измерений в ручном и автоматическом режиме разработано специализированное программное обеспечение «ТехноКоорд».

Установка деталей на измерительный стол

Установку детали или оснастки на измерительный стол производить только при неподвижных элементах координатной измерительной машины.

Детали должны быть всегда прочно закреплены, чтобы они не могли двигаться или упасть с измерительного стола. Для этого необходимо стойку 1 вставить в Т - образный паз рабочего стола и закрутить в закладную гайку, которая вставляется в нижнюю часть Т - образного паза. Планку 2 установить сверху на стойку 1. Лёгким усилием нажать на середину планки, что позволит прижать деталь 3.



- 1 Стойка
- 2 Планка
- 3 Деталь

Рисунок 10.12 – Общий вид закрепления детали на рабочем столе

Деталь установить так, чтобы все необходимые измерения были выполнимы без изменения положения детали.

Для установки измеряемых деталей можно использовать дополнительные приспособления: призмы, центра, упоры и зажимы. Необходимо учитывать их вес и габаритные размеры для обеспечения безопасности перемещений узлов КИМ.

Перемещение в ноль станка

Базовая точка соответствует началу координат координатной системы машины. Она находится в левом верхнем углу измерительного пространства.

Базовая точка должна определяться перед режимом измерения путём

перемещения машины к этой точке.

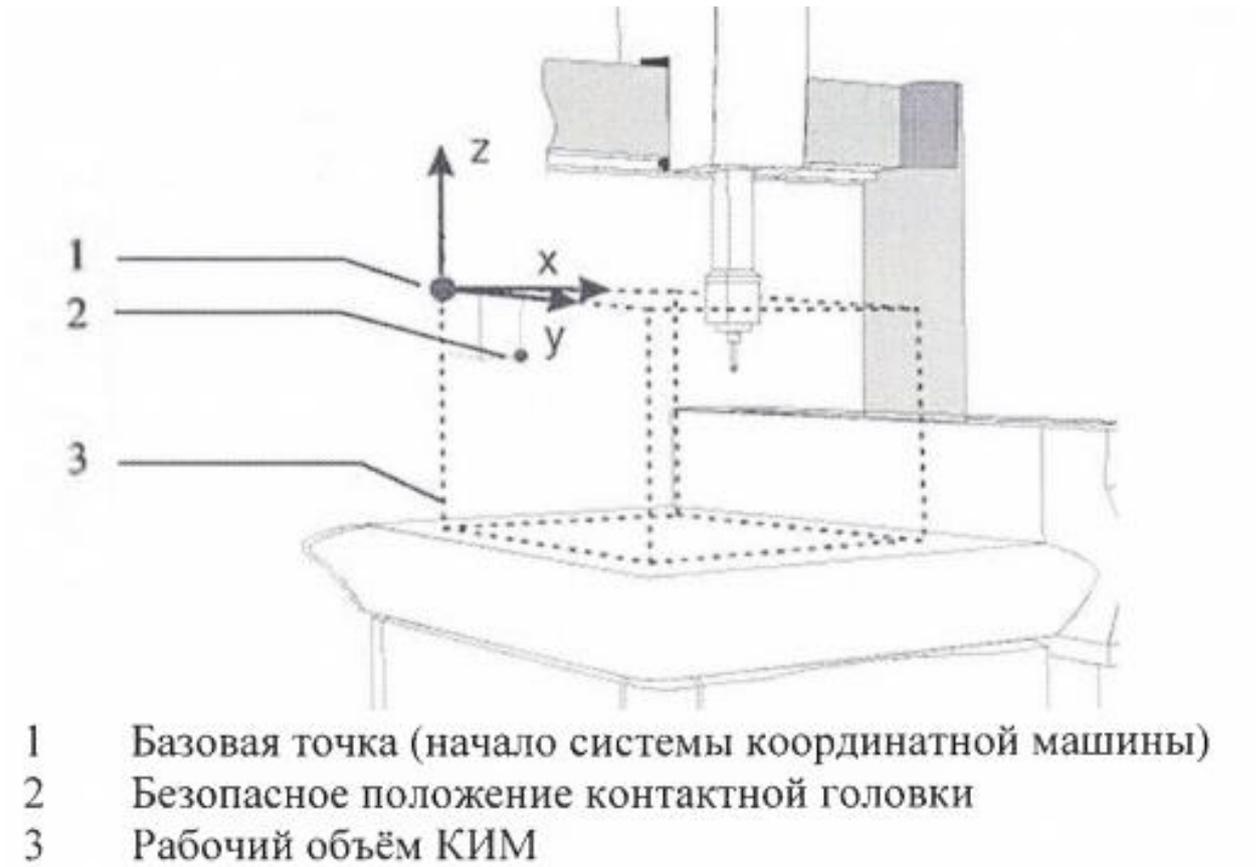
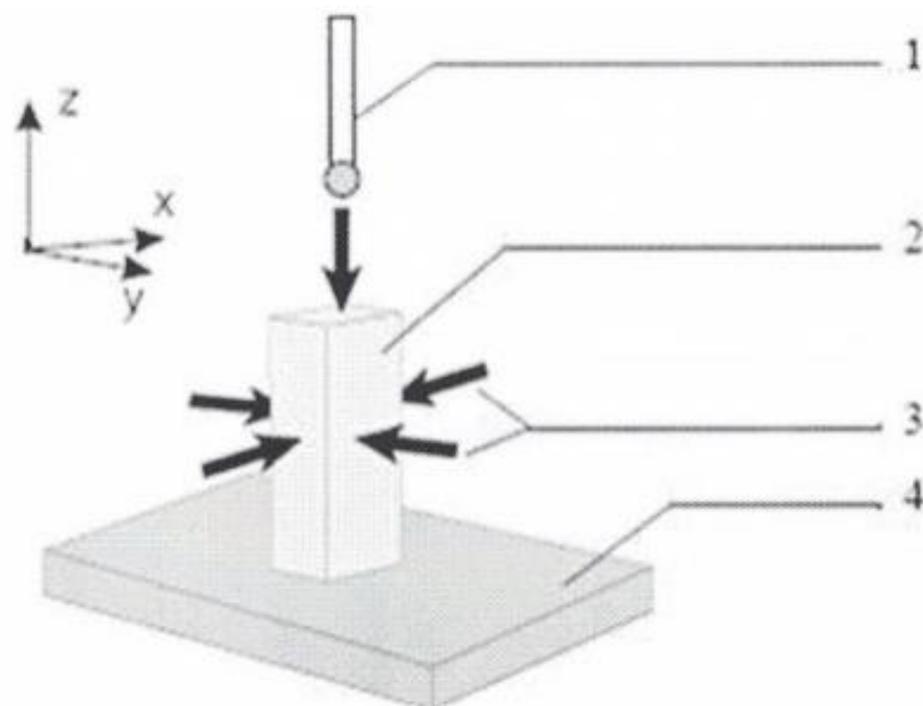


Рисунок 10.13 – Перемещение контактной головки

Направления измерения

Детали могут ощупываться в пяти направлениях: $(\pm x, \pm y, -z)$ На рисунке изображены пять направлений ощупывания.



- 1 Измерительный наконечник
- 2 Измеряемая деталь
- 3 Направления измерения
- 4 Рабочий стол

Рисунок 10.14 – Направления измерений

Измерение координат отдельных точек

При измерении координат отдельных точек последовательно измеряются координаты каждой точки. Для последующей точки процесс измерения повторяется.

С помощью измерения координат отдельных точек деталь может быть измерена в полном объеме. На основании измеренных отдельных точек рассчитываются все размеры детали. Однако, заключение о форме детали сделано быть не может. Для этого требуется расчет измеренных точек с помощью программного обеспечения КИМ.

После каждого измерения координат отдельной точки измерительный наконечник (ИН) перемещается назад, противоположно движению измерения.

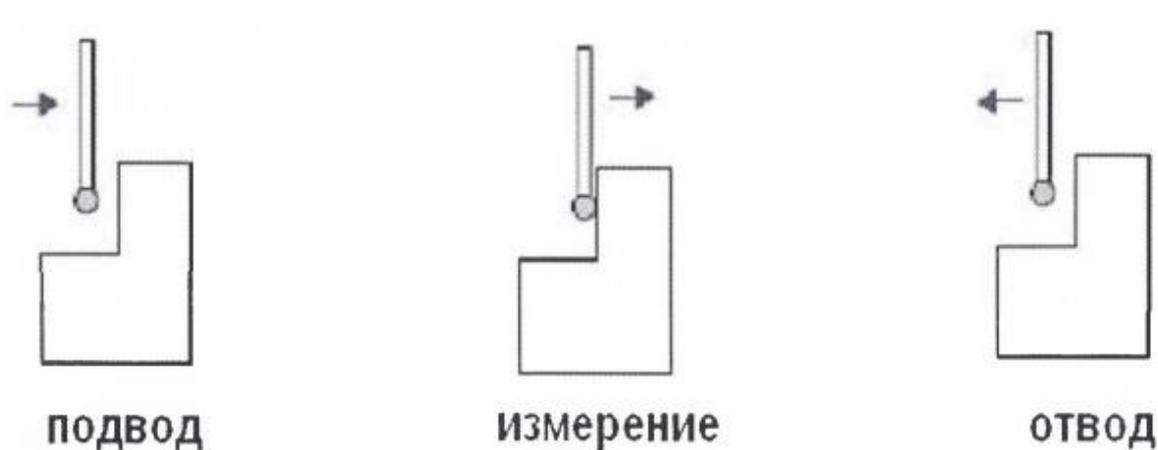


Рисунок 10.15 – Цикл измерения координат точки

Калибровка измерительного наконечника

Процесс калибровки выполняется в три стадии. В процессе их выполнения положение калибровочной сферы (рисунок 10.16) должно быть неизменным. Первая стадия заключается в полуавтоматическом измерении калибровочной сферы с помощью джойстика по пяти точкам. В процессе выполнения первой стадии происходит первичный приближённый расчет положения калибровочной сферы. Вторая стадия выполняется в автоматическом режиме и производит уточненный расчет положения калибровочной сферы. Третий, заключительный этап, также выполняется в автоматическом режиме. Происходит измерение калибровочной сферы по большому количеству точек с подходом к поверхности сферы по нормали. После выполнения всех трёх стадий происходит автоматический расчет точного положения сферы ИН относительно референтной точки пиноли КИМ и ее диаметра.



Рисунок 10.16 – Общий вид калибровочной сферы

После проведения калибровки измерительного наконечника компьютер автоматически распознает измерительную систему и поэтому ему известна центральная точка измерительного наконечника (центр сферы). В программу измерений вносятся корректируемые погрешности. Без этих сведений невозможен расчет геометрических данных детали. Чтобы определить погрешности, вносимые в процесс измерения, и параметры измерительного наконечника, выполняется калибровка.

Порядок действий при измерении

Процесс измерения программируют, используя систему координат детали или комплект систем координат детали. Система координат детали — это система координат, образованная базовыми поверхностями детали и привязанная к системе координат машины с помощью математического базирования. Эта процедура заключается в расчете расположения системы координат детали по предварительно измеренным в системе координат машины точкам базовых элементов детали и последующей трансформации координат точек в других элементах из системы координат машины в систему координат детали и обратно. Математическое базирование производится в ручном режиме.

Система координат детали при последующих измерениях поверхности уточняется.

Для удобства программирования перемещений у детали может задаваться несколько систем координат детали напрямую или через другие вспомогательные системы координат.

Измерение детали проводится в автоматическом цикле по управляющей программе.

Для осуществления режима ручного управления в комплект КИМ входит джойстик, который предназначен для перемещения узлов КИМ в режиме быстрого позиционирования, а также выполнения ручных циклов измерения отдельных точек на контролируемой детали. Перемещения выполняются с помощью кнопок управления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков порядок создания РКТ?
2. На каком этапе проводятся исследовательские испытания?
3. На каком этапе проводятся отработочные испытания?
4. Каковы задачи испытаний и для чего они ставятся?
5. Какова схема проведения испытаний? Какое оборудование используется для имитации внешних воздействий? Что собой представляет система измерений?
6. Что такое испытательный стенд?
7. Какие виды внешних воздействий определены? Каковы виды испытаний в зависимости от внешних воздействий?
8. Что такое гидравлический удар?
9. Как происходит планирование испытаний?
10. Что собой представляет ПОН? Что такое КПЭО?
11. Каковы типовые этапы испытаний?
12. Что в себя включает организация испытаний?
13. Что такое надёжность и как её оценить?
14. Каковы этапы автономных испытаний?
15. Как определяется необходимое количество образцов для испытаний?
16. Как проводится автономная отработка систем, состоящих из электронных приборов?
17. Для чего создаются модели систем?
18. Каковы задачи испытаний изделия на внешние статические нагрузки?
19. Что такое расчётный случай?
20. Каковы задачи комплексных динамических испытаний?
21. Как проводятся испытания на воздействие случайной вибрации?
22. Каковы задачи пневмогидравлических испытаний?
23. Для чего проводятся «огневые» испытания?

24. Каковы задачи тепловых испытаний?
25. Каковы задачи испытаний на разделение?
26. Каковы задачи технологических испытаний?
27. Каковы задачи заправочных испытаний?
28. Каковы задачи испытаний электросистем?
29. Каковы задачи испытаний радиотехнических систем?
30. Что собой представляют контрольные испытания и как они проводятся?
31. Каковы виды контрольных испытаний?
32. Какие методы измерений используются?
33. Какие средства измерений используются?
34. Каковы виды погрешностей?
35. Как осуществляется поверка средств измерения?
36. Каковы цель и задачи ЛКИ?
37. Что собой представляет программа ЛКИ?
38. Каковы этапы проведения ЛКИ?
39. Как определяется количество лётных изделий?
40. Что включают в себя испытания изделий при подготовке на полигоне?
41. Что собой представляет НСО?
42. Каковы этапы НСО?
43. Какие стенды используются для проведения исследовательских испытаний?
44. Какие стенды используются при испытаниях на этапе рабочего проектирования?

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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