

Д.И. ОДИНЦОВ

***Методы и устройства испытаний
электронных средств***

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ТОМСК – 2005

Федеральное агентство по образованию

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра комплексной информационной безопасности
электронно-вычислительных систем (КИБЭВС)**

Д.И. ОДИНЦОВ

***Методы и устройства испытаний
электронных средств***

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

2005

Корректор: Осипова Е.А.

Одинцов Д.И.

**Методы и устройства испытаний электронных средств:
Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр ди-
станционного образования, 2005. – 195 с.**

Данное учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по курсу «Методы и устройства испытаний электронных средств».

Пособие содержит краткое изложение курса лекций, методические указания по решению самостоятельной работы и варианты задания.

2005

© **Одинцов Д.И.,**

© **Томский межвузовский центр
дистанционного образования, 2005**

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1.....	8
1.1 Введение	8
1.2 Назначение испытаний	8
1.3 Виды внешних воздействий и их классификация.....	10
1.3.1 Факторы внешних воздействий	10
1.3.2 Механические воздействия	11
1.3.3 Климатические факторы.....	15
1.3.4 Воздействие пониженных и повышенных температур..	18
1.3.5 Воздействие влаги	19
1.3.6 Воздействие биологической среды и пылевых взвесей в атмосфере	19
1.3.7 Воздействие пониженного и повышенного давления ...	20
1.3.8 Радиационные воздействия	21
1.4 Проблемы испытаний.....	22
1.4.1 Рост трудоемкости испытаний.....	22
1.4.2 Адекватность условий испытаний реальным условиям эксплуатации	24
Лекция 2.....	26
2.1 Классификация испытаний.....	26
2.2 Виды испытаний	31
Лекция 3.....	40
3.1 Способы проведения испытаний	40
3.2 Планирование испытаний.....	42
3.3 Содержание программы испытаний.....	45
Лекция 4.....	53
4.1 Особенности программы испытаний на надежность	53
4.2 Содержание методики проведения испытаний.....	55
Лекция 5.....	59
5.1 Механические испытания ЭС	59
5.1.1 Методы испытаний на воздействие вибрации	59
5.2 Виды механических испытаний ЭС	66
5.2.1 Испытания на обнаружение резонансных частот	66
5.2.2 Испытания на виброустойчивость.....	67
5.2.3 Испытания на вибропрочность	68

5.3 Испытательное оборудование, применяемое при испытаниях ЭС на воздействие вибрации	69
5.4 Средства измерений параметров вибрации. Вибропреобразователи	72
Лекция 6.....	75
6.1 Испытания на ударную прочность и устойчивость	75
6.2 Методы проведения испытаний на ударную прочность и устойчивость	75
6.3 Испытательное оборудование для испытаний на ударную прочность и устойчивость	79
6.4 Средства измерения параметров ударного воздействия	81
Лекция 7.....	82
7.1 Испытания на воздействия линейных нагрузок.....	82
7.2 Оборудование для проведения испытаний на воздействие линейных ускорений.	82
7.3 Средства измерений частоты вращения центрифуг	84
7.4 Испытания на воздействия акустического шума	84
7.5 Испытательное оборудование	86
7.6 Средства измерения акустического шума	87
Лекция 8.....	88
8.1 Общая методология климатических испытаний.....	88
8.2 Температурные испытания	90
8.2.1 Испытания на воздействие повышенной температуры	90
8.3 Испытания на воздействие пониженных температур	92
8.3.1 Испытания на циклическое воздействие смены температур.....	93
Лекция 9.....	97
9.1 Испытания на влагоустойчивость.....	97
9.2 Оборудование, применяемое при проведении испытаний на влагоустойчивость	100
9.3 Средства измерения повышенной влажности	101
Лекция 10.....	102
10.1 Испытания на воздействия солнечного излучения.....	102
10.1.1 Оборудование, применяемое для проведения испытаний на воздействие солнечного излучения	104

10.1.2 Средства измерения воздействия солнечного излучения	104
10.2 Испытания на воздействие пыли	104
10.2.1 Оборудование, применяемое для проведения испытаний на воздействие пыли	105
10.2.2 Средства измерения значений параметров пыли	106
Лекция 11.....	107
11.1 Испытания на воздействие соляного тумана.....	107
11.1.1 Средства измерения параметров соляного тумана	108
11.2 Испытания на воздействие пониженного атмосферного давления	108
11.2.1 Оборудование, применяемое при проведении испытаний на воздействие пониженного атмосферного давления.....	109
11.2.2 Средства измерений при испытаниях на воздействие пониженного атмосферного давления.....	109
Лекция 12.....	110
12.1 Испытания на воздействия биологических факторов	110
12.2 Испытания на воздействия коррозии	111
12.2.1 Испытание на воздействие атмосферы, содержащей сернистый газ	112
12.3 Средства измерения значений параметров коррозионно-активных сред.....	113
Лекция 13.....	114
13.1 Испытания ЭС на космические воздействия	114
13.2 Испытания на воздействия ультранизких давлений.....	114
13.3 Испытания на воздействие криогенных температур	115
13.4 Термовакuumные испытания	115
13.5 Испытания на воздействие невесомости	115
13.6 Испытания на воздействие микрометеоритов.....	116
Лекция 14.....	117
14.1 Радиационные испытания.....	117
14.2 Испытания на воздействия рентгеновского и γ -излучения	118

Лекция 15	119
15.1 Испытания на воздействие рентгеновского и-излучения ..	119
15.1.1 Испытания на импульсное воздействие рентгеновского и-излучения.....	120
15.1.2 Испытание на воздействие статического (непрерывного) излучения.....	122
15.2 Испытания на воздействия потоков нейтронов	123
15.2.1 Испытания на воздействия импульсных потоков нейтронов.....	124
15.2.2 Испытания на воздействие непрерывных потоков нейтронов.....	125
Лекция 16	127
16.1 Испытания на воздействие ионизирующих излучений (потоков протонов, электронов и ионов).....	127
16.2 Испытания на надежность	129
Лекция 17	133
17.1 Статистическая обработка данных измерений.....	133
17.2 Автоматизация испытаний	135
Лекция 18	139
18.1 Критерии оценки эффективности АСИ	139
18.2 Требования к обеспечению автоматизированной системы испытаний.....	140
18.3 Техническое обеспечение	141
18.4 Математическое обеспечение	143
18.5 Программное обеспечение	143
Лекция 19	145
19.1 Информационное обеспечение	145
19.2 Лингвистическое обеспечение	145
19.3 Аккредитация испытательных лабораторий	146
19.4 Аттестация методов испытаний.....	146
19.5 Аттестация испытательного оборудования	147
19.6 Поверка средств измерений и первичных измерительных преобразователей	148
Методические указания по изучению курса «Методы и устройства испытаний электронных средств».....	149
Литература	197

ЛЕКЦИЯ 1

1.1 Введение

В настоящее время во всем мире идет стремительное развитие электронного аппаратостроения, в частности в области радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры. Первостепенное значение для такой аппаратуры имеют показатели качества, определяющие возможность выполнения ее целевой задачи нормального функционирования в заданных условиях в течение требуемого времени наработки. Качество радиоэлектронной аппаратуры обеспечивается ее конструкцией, технологией изготовления и условиями производства. Этапы проектирования и производства аппаратуры предполагают получение информации о ее качестве на всех стадиях – от начала проектирования до изготовления в серийном производстве и последующей ее эксплуатации. Существенная роль в этом процессе отводится испытаниям. Результаты испытаний являются основой решений по использованию аппаратуры, усовершенствованию ее конструкции и технологии изготовления.

Данный курс лекций «Методы и устройства испытаний электронных средств» состоит из трех частей. Первая часть посвящена теории основ испытаний. Во второй части рассматриваются вопросы проведения испытаний и использования испытательного и контрольно-измерительного оборудования. В третьей части содержится материал по автоматизации процессов испытаний и обработке их результатов.

1.2 Назначение испытаний

Качество электронных средств (сокращенно ЭС) складывается из целой системы показателей качества. К ним относятся:

- электрические параметры аппаратуры,
- габаритные размеры,
- масса,
- стоимость,
- надежность и др.

Под качеством понимается степень совершенства изделия ЭС, оцениваемая соответствием требований потребителя и возможности производства.

Качество ЭС, изготавливаемых в конкретном производстве, в основном определяется конструкцией и технологией изготовления. Однако для каждого конкретного образца аппаратуры возможно снижение показателей качества, обусловленное отступлением от технологии производства по различным причинам (низкое качество исходных материалов, сбой в технологическом процессе, человеческий фактор и т.д.)

Основная задача разработчиков (конструкторов, технологов) и изготовителей ЭС – обеспечить требуемые показатели качества и надежности ЭС в условиях, близких к условиям эксплуатации. Для этого специалистам нужна информация о том, что разработанные ими ЭС обеспечивают требуемые показатели качества и надежности, предъявляемые к данному изделию и каждому образцу изделия в частности.

Частично такую информацию дают результаты эксплуатации изделий. Но не все параметры ЭС, необходимые для оценки их качества, измеряются в процессе эксплуатации. Другим источником определения показателей качества являются теоретические расчеты, но они нуждаются в экспериментальном подтверждении. С усложнением ЭС получение адекватных математических моделей становится все сложнее. Поэтому существенную долю информации о качестве ЭС получают, проводя испытания изделий на всех этапах их «жизненного» цикла, – при проектировании, производстве, эксплуатации.

Под испытаниями понимают экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта как результата воздействий на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий. Другими словами, либо модель объекта помещают в реальные условия эксплуатации, либо (что чаще всего) моделируют условия эксплуатации и помещают в них образец изделия.

Следует выделить три группы задач, решаемых проведением испытаний:

- получение эмпирических данных, необходимых для проектирования ЭС;

- установление соответствия изделия проектным требованиям;
- определение предельных испытаний ЭС.

Цели испытаний очень многочисленны и меняются на различных этапах проектирования и изготовления ЭС. Выделим основные:

- Экспериментальное подтверждение теоретических расчетов, принятых допущений и гипотез, заданных показателей качества разработанных ЭС, а также выявление резервов повышения показателей качества (надежности) разработанного варианта изделия;
- Контроль условий производства, соблюдение исполнителями требований технической документации;
- Устранение дефектов взаимодействия различных изделий в составе системы.

Проведение испытаний должно выявлять:

- Недостатки конструкции и технологии изготовления ЭС;
- Скрытые случайные дефекты материалов, элементов конструкции;
- Резервы повышения надежности варианта изделия.

1.3 Виды внешних воздействий и их классификация

1.3.1 Факторы внешних воздействий

На этапе эксплуатации ЭС проявляется комплекс факторов с обобщенным названием «*внешние воздействия*». Анализ всех видов внешних воздействий показывает, что все они по физике воздействия могут быть разделены на два основных класса:

- *воздействия, вызывающие немедленную ответную реакцию изделия*. К ним относятся механические воздействия, воздействия различных видов излучений, тепловые и электрические нагрузки и т.п.
- *воздействия, вызывающие накапливающуюся реакцию изделия*. К данному классу воздействий относятся различные климатические факторы, такие, как влажность, соляной туман, агрессивные среды, плесневые грибки и др. Этот класс воздействия не вызывает мгновенных изменений характеристик ЭС, не

оказывает непосредственного влияния на их электрофизические параметры. Однако при длительном нахождении ЭС в условиях данного класса воздействий, постепенно ухудшаются прочностные характеристики конструкции, нарушается герметичность ЭС. Окружающая среда получает доступ к активным областям элементов, в результате чего постепенно изменяются их параметры и в дальнейшем происходит отказ ЭС.

Классификация видов воздействия приведена на рис. 1.1.

Исходя из требований и поведения изделий при воздействии внешних факторов, различают следующие их свойства:

- *прочность*, т.е. способность изделия выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах норм, установленных в нормативно-технической документации (НТД) после воздействия того или иного внешнего фактора или комплекса факторов;

- *устойчивость*, т.е. способность изделия выполнять свои функции и сохранять свои параметры, установленные в НТД, во время воздействия того или иного внешнего фактора или комплекса факторов.

Таким образом, говоря о прочности изделия, мы предполагаем сохранение работоспособности изделия после воздействия этого фактора. При этом вполне возможно, что в процессе воздействия внешнего фактора происходила временная потеря работоспособности изделия.

Устойчивость же к воздействию внешних факторов более широкое понятие, оно предполагает сохранение работоспособности изделием как в процессе, так и после воздействия внешнего фактора.

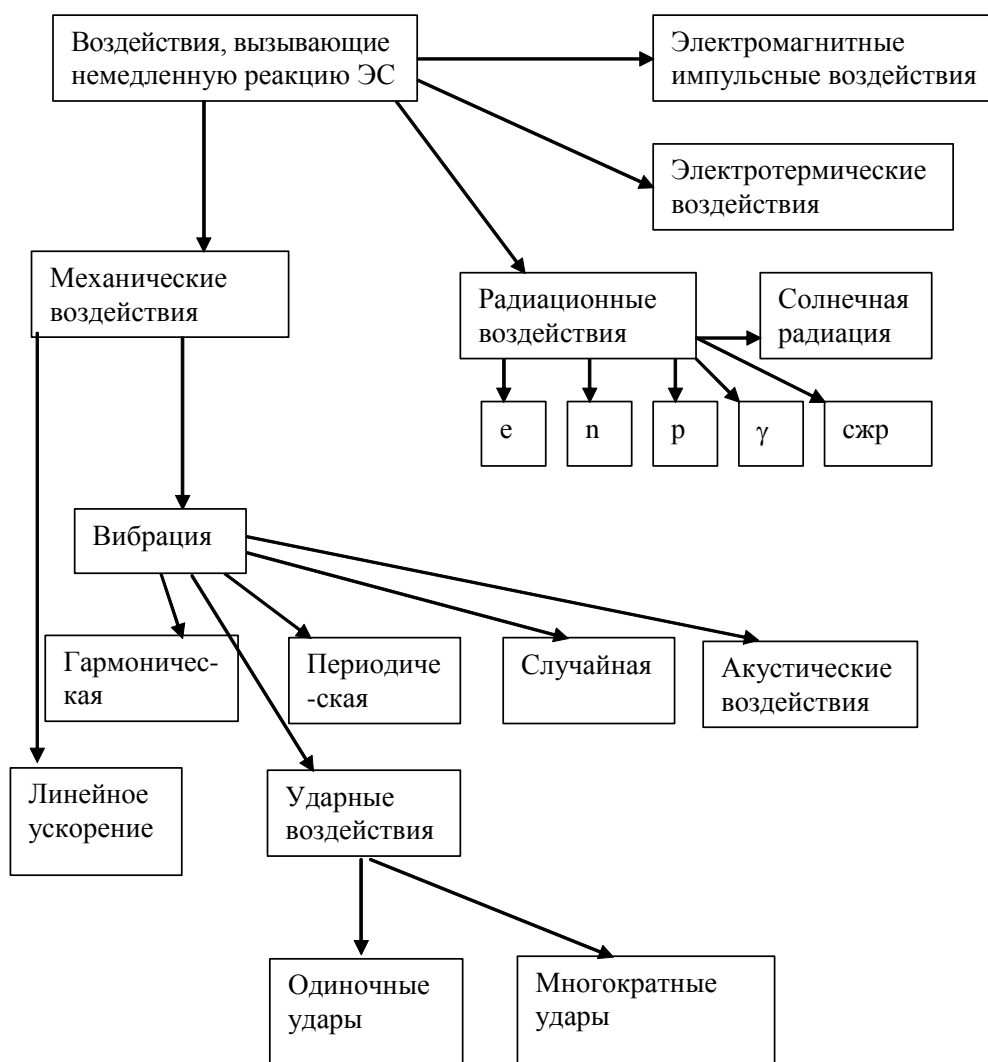
Теперь более подробно рассмотрим основные виды внешних воздействий.

1.3.2 Механические воздействия

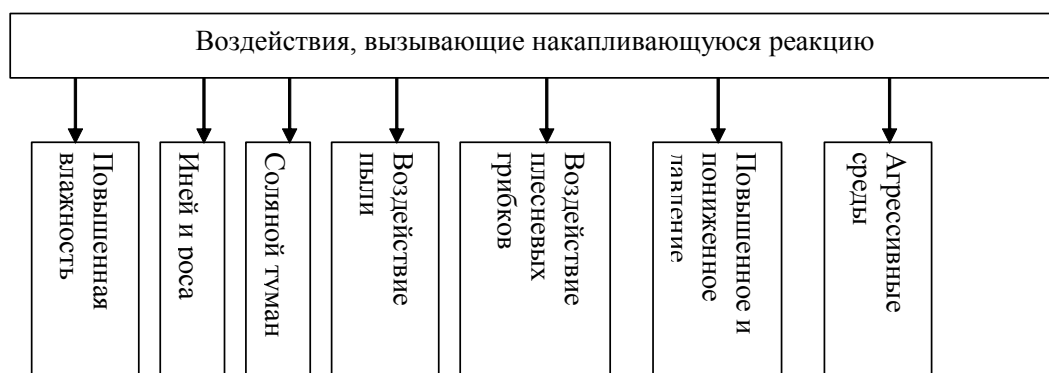
Современные ЭС различного назначения при эксплуатации и транспортировке обычно находятся в условиях динамических воздействий:

- вибрации;
- ударных и линейных перегрузок;
- акустических шумов,

1 Класс.



2 класс.



e – электроны, n – нейтроны, p – протоны, γ – гамма-излучение;
сжр – сверхжесткое рентгеновское излучение

Рисунок 1.1

частотный и амплитудный диапазоны которых весьма широки. Это сложное вибрационное и другие динамические воздействия передаются на элементы аппаратуры, вызывая нарушения нормального режима работы механических поврежденных элементов. Опасность механических повреждений увеличивается из-за постоянного обогащения акустического спектра подвижных объектов высокочастотными составляющими.

Так, мощность акустических нагрузок, генерируемых двигателями современного реактивного самолета, достигает до сотен киловатт, а суммарные мощности акустических нагрузок при работе двигателей космических ракет достигают сотен мегаватт. Уровни переменного давления у поверхности летательного аппарата достигают 170...190 Дб. С расширением частотного диапазона до 5000 Гц.

При воздействии механических нагрузок на элементы конструкции ЭС в них возникают динамические и статические деформации, сопровождающиеся сложными колебательными процессами, так как корпусные элементы представляют собой своего рода колебательную систему, состоящую из балок, стержней, с различными видами закреплений концов и нагруженных сосредоточенной и распределенной массой.

Следует обратить внимание, что ЭРЭ, находящиеся в составе ЭС, также подвержены механическим воздействиям. Причем их реакция имеет более сложный характер, заключающийся в том, что под действием механических воздействий в них возникают не только локальные напряжения в конструкции, но и изменение электрических характеристик. В качестве примера проанализируем реакцию полупроводниковых приборов на механические воздействия. Для этого разделим полупроводниковый прибор на три элемента:

- корпус;
- внутренняя арматура;
- активный элемент.

Реакция корпуса полупроводникового прибора, обусловленная его деформацией за счет вибрации или акустических воздействий, проявляется в виде:

- знакопеременных механических напряжений в элементах корпуса;

- деформации сопряженных с корпусом элементов внутренней арматуры и полупроводникового кристалла;
- изменения диэлектрических свойств и удельного сопротивления материала, накопления статического заряда на изоляционных элементах корпуса;
- деградации конструкции корпуса (в результате усталостных явлений в материале).

Реакция внутренней аппаратуры, обусловленная деформацией корпуса прибора, проявляется в виде:

- знакопеременных механических напряжений в элементах;
- механических колебаний элементов;
- деформации полупроводникового кристалла в местах его соединения с элементами внутренней арматуры;
- деградации конструкции элементов внутренней арматуры (за счет усталости, разрушения, отслаивания).

Реакция активного элемента, обусловленная деформацией корпуса прибора и сопряженных с ним элементов внутренней арматуры, проявляется в виде:

- знакопеременных механических напряжений на элементах структуры р-п-перехода и полупроводникового кристалла;
- деформации проводящих элементов на поверхности полупроводникового кристалла, отслаивания и обрыва полупроводников;
- деформации переходного слоя между активным элементом и основанием, отрыва кристалла от кристаллодержателя;
- деградации активного элемента прибора, растрескивания и разрушения кристалла.

Одновременно с реакцией механического характера возможно возрастание уровня электрических шумов за счет токов, наводимых на колеблющихся элементах, и «разрытие» ВАХ р-п-переходов из-за тензочувствительности полупроводникового кристалла (т.е. изменение сопротивления кристалла при его деформации).

Таким образом, в процессе эксплуатации ЭС подвержены различным механическим воздействиям, причем им подвергаются все составные их части, поэтому требуется проведение механических испытаний.

1.3.3 Климатические факторы

Под климатом понимается характерная для данной области (региона) совокупность типичных изменений атмосферных процессов, обусловливаемых географическими координатами, уровнем солнечной радиации, строением земной поверхности, вертикальным теплообменом и другими метеорологическими факторами за длительный (20...30 лет) период.

Основными климатическими факторами окружающей среды являются:

- солнечная радиация;
- температура и относительная влажность воздушной среды, ее плотность;
- движение и наличие в ней твердых и газообразных примесей: снег, иней, туман, роса, плесневые грибки и т.п.

Нормальными климатическими условиями являются:

- температура $+25 \pm 10$ °С,
- относительная влажность 45...80%,
- атмосферное давление $(8.3...10.6) \cdot 10^4$ Па (630...800 мм рт. ст.).

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является одним из основных климатических факторов. Уровень солнечной радиации и свойства окружающей среды в данном конкретном месте земной поверхности определяют температуру окружающей среды. Для ЭС с естественным воздушным охлаждением за температуру окружающей среды принимается температура воздуха на уровне расположения ЭС и на расстоянии, на котором влиянием теплоты, выделяемой ЭС, можно пренебречь. Для ЭС с принудительным охлаждением за температуру внешней среды принимают температуру охлаждающего реагента на входе системы охлаждения.

В результате остывания атмосферного давления ниже точки росы, образуются жидкие (дождь, туман, роса) и твердые (снег, град, иней) осадки.

В результате горизонтального движения воздуха образуется ветер. Его характеризуют направлением, силой в баллах или скоростью м/с. Как правило, атмосферный воздух содержит различ-

ные примеси в виде газа и взвешенных частиц. Частицы диаметром до 75 мкм классифицируются как пыль. Для характеристики условий эксплуатации изделий определены три уровня концентрации пыли: 0.18; 1; 2 г/м³. Из газообразных примесей в воздухе наиболее опасными для ЭС сернистый газ и хлористые соли. По их содержанию в воздухе установлены три типа атмосферы:

- атмосфера сельской местности (содержание сернистого газа не более 0.02 мг/м³);
- атмосфера промышленного района (содержание сернистого газа 0.02...2 мг/м³, хлористые соли не более 0.3 мг/м² в сутки);
- морская атмосфера (хлористые соли 2...2000 мг/м² в сутки).

В воздухе содержатся различные бактерии, грибковые споры. Плесневелые грибки, попадая на ЭС, способны разлагать высокомолекулярные соединения как естественного, так и искусственного происхождения.

По установленному климатическому районированию весь земной шар делится на семь зон, климат которых определяется как:

- очень холодный;
- холодный;
- умеренный;
- тропический влажный;
- тропический сухой;
- умеренно холодный морской;
- тропический морской.

Очень холодный регион расположен в Антарктиде. Средняя минимальная температура – 60 °С. Характерная особенность зоны – сочетание низкой температуры и сильного ветра. Число дней в году со скоростью ветра более 25 м/с достигает 70.

Холодный регион включает в себя большую часть России и Канады, Аляску и Гренландию. Средняя минимальная температура воздуха –45 °С, относительная влажность воздуха при температуре +20 °С и выше редко превышает 80%. Особенностью зоны является высокая прозрачность атмосферы, что способствует интенсивной ионизации воздуха под воздействием солнечной

радиации и, как следствие, накоплению на поверхности ЭС высокого уровня статического электричества. Обычными явлениями для холодного региона являются:

- обледенение;
- иней;
- ветер с мелкой снежной пылью.

В умеренном регионе расположены часть территории России, большая часть Европы, США, прибрежные территории Австралии, Южной Африки и Южной Америки. Средняя максимальная температура в регионе $+40^{\circ}\text{C}$, а средняя минимальная -45°C . Особенностью региона является наибольшее по сравнению с другими регионами число переходов температуры через точку замерзания воды, что способствует возникновению значительных напряжений в ограниченных объемных конструкциях, содержащих влагу, и может приводить к их разрушению.

Влажный тропический регион расположен вблизи экватора. К нему относится большая часть Центральной и Южной Америки, средняя часть Африки, Юг Индии, часть Юго-восточной Азии, Индонезия. Средняя минимальная температура составляет $+1^{\circ}\text{C}$, а максимальная $+45^{\circ}\text{C}$. Особенностью региона является обилие ливневых дождей, высокая относительная влажность воздуха, значительная конденсация влаги в виде росы. Сочетание высоких температур и влажности делает климат данного региона очень коррозионно-агрессивным. Климатические условия региона весьма благоприятны для существования и интенсивного размножения плесневых грибов.

Регион с сухим тропическим климатом включает в себя северную часть Африки, центральную Австралию, Аравийский полуостров, часть Северной Америки. Средняя максимальная температура $+40^{\circ}\text{C}$ при низкой относительной влажности воздуха. Особенность региона – интенсивное солнечное излучение. Воздушная среда характеризуется высоким содержанием пыли и песка, способных оказывать абразивное и химическое воздействие на ЭС вследствие наличия агрессивных примесей на поверхности песчинок.

Умеренно холодный морской регион включает моря, океаны и прибрежные районы, расположенные севернее 30° север-

ной широты и южнее 30° южной широты. Средняя минимальная температура –30 °С, а максимальная +40 °С. Особенность климата данной зоны – высокая коррозионная активность из-за постоянной высокой влажности (выше 80%) и значительной концентрации хлоридов в атмосфере.

Тропический морской регион включает в себя все остальные моря, океаны и прибрежные районы, что не вошли в умеренный морской регион. Средняя минимальная температура –1 °С, а максимальная +45 °С. Особенность климата данной зоны – высокая коррозионная активность из-за постоянной высокой влажности (выше 80%) и значительной концентрации хлоридов в атмосфере.

Данное разнообразие климатов предполагает проведение испытаний с учетом места эксплуатации ЭС, т.е. планы проведения испытаний составляются с учетом региона использования данного ЭС.

1.3.4 Воздействие пониженных и повышенных температур

Действие этих факторов определяется местом установки ЭС, расположением источников внешнего нагрева, сезонными и суточными изменениями температуры окружающей среды.

Различают три типа тепловых воздействий:

- непрерывное, связанное с функционированием ЭС в стационарных условиях;
- периодическое, возникающее при повторно-кратковременном включении ЭС, в результате резких изменений условий эксплуатации, а также при суточном изменении температуры;
- аperiodическое, вызывается единичным, но достаточно интенсивным воздействием тепла или холода.

Наиболее благоприятные условия для ЭС складываются при непрерывном температурном воздействии, которое происходит в условиях установившегося режима эксплуатации или хранения, когда все элементы и блоки длительное время находятся в неизменных условиях, не превышающих оптимальные.

1.3.5 Воздействие влаги

Действие влаги на ЭС связано с адсорбцией воды на поверхности элементов конструкции ЭС и ЭРЭ, конденсирующейся из окружающей среды. Кроме того, влага может выделяться из лакокрасочных покрытий, пропиточных материалов. В естественных условиях содержание паров воды зависит от температуры. При высокой влажности воздуха достаточно небольшого понижения температуры, как происходит интенсивная конденсация водяных паров.

Вода является весьма активным химическим соединением. Она легко взаимодействует с жидкостями, газами и твердыми веществами. Одновременно вода является активным катализатором, многие химические реакции существенно ускоряются в присутствии незначительного количества воды. Атмосферные осадки в среднем содержат до 20 мг/кг различных примесей, в том числе соли и кислоты. Осаждаясь на поверхности ЭС, влага образует пленку электролита, возникающие при этом химические реакции ускоряются воздействием тепла, света и электрических полей.

Длительное воздействие влаги на полимерные материалы, применяемые для герметизации ЭРЭ, приводит к изменению их прочностных характеристик и защитных свойств. В результате нарушается герметичность корпусов ЭРЭ и влага проникает во внутренние области элементов. В частности для ИС и полупроводников это опасно тем, что влага, оседая на поверхности активных областей р-п-переходов, изменяет их зарядовое состояние, что приводит к изменению и нестабильности их электрических параметров.

В зависимости от концентрации водяных паров в атмосфере и температуры окружающей среды влага может проявляться в виде тумана, росы, дождя, инея, снега. Все виды агрегатного состояния воды в атмосфере являются источниками влаги, воздействующей на ЭС и приводящей к эффектам, рассмотренным выше.

1.3.6 Воздействие биологической среды и пылевых взвесей в атмосфере

В условиях влажного тропического климата (и не только) значительную опасность для ЭС представляют плесневелые грибки, обладающие исключительной способностью к размножению. В

процессе жизнедеятельности грибки выделяют лимонную, уксусную, щавельную кислоты и другие химически активные соединения, под воздействием которых изменяются физические характеристики герметизирующих пластических материалов, повышается их хрупкость, резко возрастает влагопроницаемость. Также активизируется коррозия конструктивных элементов, корпусов и выводов ЭРЭ, межэлементных соединений и нарушается изоляция проводного монтажа. Активность плесневых грибков значительно возрастает при повышении температуры и влажности окружающей среды, а также в условиях теплового воздействия солнечной радиации.

В морских климатических регионах (умеренный и тропический) существенное влияние на эксплуатацию ЭС оказывает соляной туман, содержащийся в атмосфере. Процессы, протекающие в конструктивных элементах ЭС и ЭРЭ в условиях соляного тумана, являются разновидностью атмосферной коррозии, имеющей электрохимический механизм и идущей с большей интенсивностью из-за наличия агрессивных примесей в воздушной среде.

При эксплуатации ЭС в условиях повышенной запыленности, пылевые взвеси в виде мелких частиц могут попадать на конструктивные элементы ЭС и могут быть причиной возникновения неисправностей. В составе пыли, как правило, содержатся углекислые и сернистые соли, хлориды, которые, оседая на металлических элементах конструкции и взаимодействуя с влагой, интенсифицируют процесс их коррозии. Кроме коррозионного воздействия, увлажненный налет пыли на поверхности корпусов и токоведущих соединений может вызывать поверхностные токи утечки и пробой воздушного промежутка между выводами, находящимися под высоким электрическим потенциалом. ЭС, эксплуатируемые в полевых условиях, подвергаются абразивному воздействию песчаных взвесей в атмосферном воздухе, что приводит к нарушению изоляционных лакокрасочных покрытий и ускорению коррозии металлических деталей.

1.3.7 Воздействие пониженного и повышенного давления

Использование ЭС в составе корабельной и бортовой аппаратуры авиационных и космических объектов происходит в ряде

случаев в условиях повышенного или пониженного атмосферного давления. При воздействии на ЭС пониженного давления создается возможность возникновения отказов, обусловленных ухудшением теплового режима работы аппаратуры за счет снижения конвекции. В условиях пониженного давления ухудшается электрическая прочность воздуха, что может быть причиной возникновения коронного разряда между выводами, находящимися под высоким напряжением.

Повышенное давление оказывает в первую очередь механическое воздействие на конструктивные элементы ЭС. В связи с этим к ЭС предъявляются требования, направленные на обеспечение устойчивости к воздействию атмосферного давления от 84 до 107 кПа (630...800 мм рт. ст.). А к элементной базе предъявляются еще более жесткие требования. Они должны сохранять работоспособность при изменении атмосферного давления в диапазоне от $1.33 \cdot 10^{-4}$ до $2.94 \cdot 10^5$ Па.

1.3.8 Радиационные воздействия

Радиационные воздействия на ЭС способны вызывать как немедленную, так и накапливающуюся реакцию элементов конструкции и ЭРЭ. Среди существующих видов излучений наибольшую опасность для приборов представляют мощные электромагнитные излучения и частицы высоких энергий.

Электромагнитными излучениями называются излучения, распространяющиеся в вакууме со скоростью света. Полный спектр электромагнитных излучений охватывает очень широкий диапазон длин волн от десятков тысяч метров (радиоволны) до долей нанометра (γ -лучи). Особо сильное воздействие оказывают рентгеновское излучение и гамма-лучи.

В заключение следует сказать, что рассмотренные выше факторы воздействуют, как правило, в комплексе, усиливая друг друга и/или создавая благоприятные условия преимущественного развития того или иного механизма отказа. Уместно сказать, что рассмотренные факторы действуют в сочетании с электрическими и тепловыми режимами функционирования ЭС. При этом данное сочетание внешних факторов и рабочих режимов дей-

ствует ускоряюще на развитие деградиционных процессов. Внешние факторы, действуя на все элементы ЭС одновременно, могут вызывать изменения параметров резисторов, конденсаторов, соединителей, объемных и печатных проводников, что в свою очередь может привести к нарушению режима работы активных элементов, таких, как полупроводники и ИС, к их перегрузке и выходу из строя.

1.4 Проблемы испытаний

1.4.1 Рост трудоемкости испытаний

Сложность ЭС и их функциональная нагрузка постоянно возрастают, что хорошо видно на примере роста сложности аппаратуры вычислительных систем IBM (см рис. 1.2).

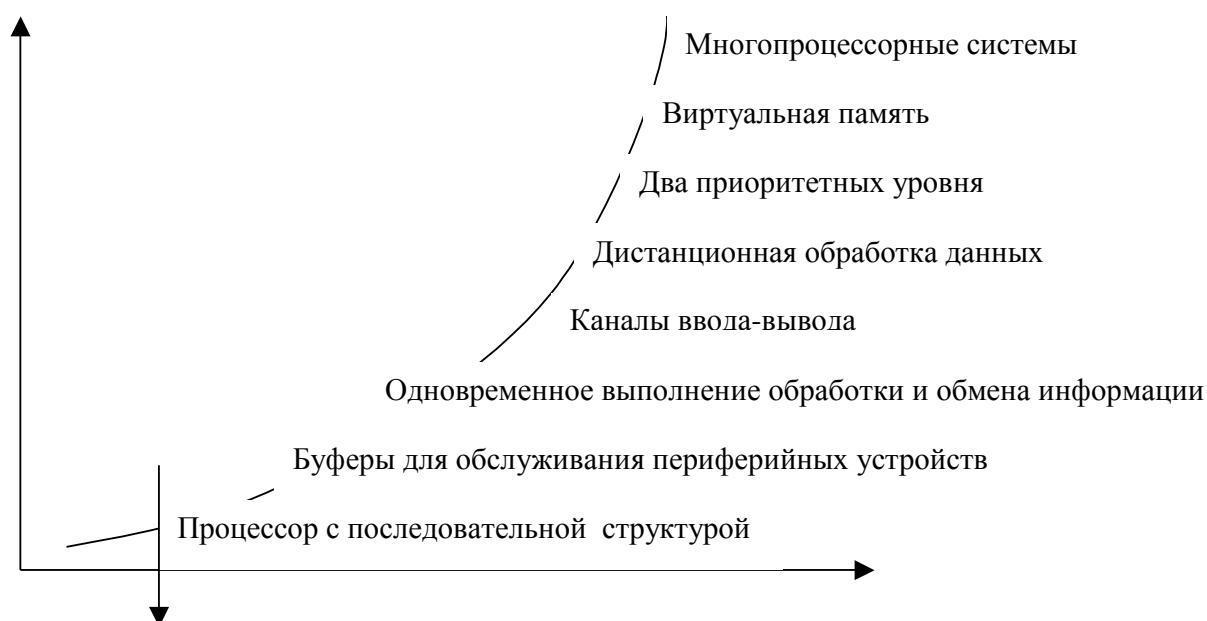


Рисунок 1.2

С помощью комплекса физических, схемотехнических и конструкторско-технологических методов создаются микроминиатюрные высоконадежные электронные устройства. Характерным примером могут служить функциональные блоки ЭС приема, преобразования, запоминания и отображения данных, которые созданы на основе интегральных схем (ИС) и функциональ-

ных устройств, содержащих десятки и сотни тысяч элементов на кристалле площадью несколько квадратных миллиметров.

Повышение функциональной плотности современных ЭС достигается путем расширения номенклатуры используемых в ней ИС и применения высокоинтегрированных изделий микроэлектроники. Этот процесс порождает два обстоятельства, связанных со стоимостью испытаний.

1. Расширение номенклатуры применяемых в ЭС изделий и снижение их объема выпуска существенно повышают трудоемкость проведения испытаний и особенно испытаний по определению показателей надежности.

2. Для проведения испытаний многофункциональных ЭС по условиям, близкими к условиям ее эксплуатации, требуется более объемная программа испытаний и более совершенное испытательное оборудование.

Данные проблемы испытаний решаются за счет автоматизации испытательного оборудования, что сразу снижает их трудоемкость, а следовательно, и себестоимость. К числу основных требований к оборудованию относятся:

- гибкость автоматической перестройки на разные режимы и объекты испытаний;
- выполнение основного цикла испытаний без вмешательства оператора;
- автоматический контроль и документирование режимов испытаний.

Выполнение этих требований стало возможно после создания средств измерения на базе микроконтроллеров.

Также к способам снижения трудоемкости и стоимости испытаний относят:

- создание более экономичных программ испытаний по определению показателей надежности испытываемых изделий;
- оптимизацию испытаний по стоимости.

Создание более экономичных программ испытаний обеспечивается либо учетом дополнительной априорной информации, либо введением дополнительных ограничений на условия и порядок проведения испытаний.

Оптимизация испытаний по стоимости основана на выборе оптимальных значений основных параметров эффективности ис-

пытаний, это *стоимость и точность*. Целевой функцией при оптимизации является математическое ожидание стоимости испытаний. Но решение этой задачи затруднено тем, что исходными данными при расчетах являются значения параметров определенного закона распределения, а на практике ни закон, ни его параметры неизвестны.

1.4.2 Адекватность условий испытаний реальным условиям эксплуатации

Исследования, анализ и опыт эксплуатации ЭС показывают, что существует значительное расхождение между показателями надежности, наблюдаемыми в условиях эксплуатации, и показателями, получаемыми расчетным путем или при испытаниях в лабораторных и производственных условиях.

Существует три группы причин неадекватности результатов воздействия на ЭС испытаний и эксплуатации:

- 1) причины, обусловленные несовершенством методик испытаний;
- 2) причины, связанные с особенностями эксплуатации и конструкции ЭС;
- 3) причины, обусловленные несоответствием внешних воздействий, моделируемых при лабораторных испытаниях, реальным внешним воздействиям.

1. Основной причиной несовершенства методик испытаний является ограниченная выборка образцов ЭС, подвергаемых испытаниям в лаборатории, что является следствием роста трудоемкости испытаний.

2. Также неадекватность результатов испытаний связана с особенностями конструктивных и функциональных свойств ЭС (назначения, массы и объема, способа охлаждения и др.). Большинство ЭС при эксплуатации в течение длительного времени находится в неработающем состоянии (установлено, что от 2% до 60% отказов происходит в то время, когда ЭС работает). Иногда для украшения проведения испытаний ЭС, которые эксплуатируются в циклическом режиме, испытывают в непрерывном. Циклическим режимом работы ЭС называют режим, связанный со сравнительно частыми включениями и выключениями аппара-

туры. Опыт эксплуатации ЭС показывает, что частые включения/выключения аппаратуры приводят к большому числу отказов.

Причиной отказов аппаратуры при включениях и выключениях заключается в том, что во время переходных процессов в комплектующих ЭС возникают экстратоки и перенапряжения, величины которых часто намного превышают (хотя и кратковременно) допустимые по ТУ значения.

Дополнительные отказы в условиях эксплуатации возникают из низкого качества изготовления конкретных изделий и местных перегревов при ремонте, обусловленных плотностью компоновки.

3. Степень соответствия условий испытаний условиям эксплуатации определяется не только полнотой знаний о многофакторных условиях эксплуатации, но и возможностями испытательного оборудования. Совершенствование оборудования удорожает проведение испытаний и соответственно стоимость изделий. Поэтому на практике при конструировании испытательного оборудования принимаются компромиссные решения между стремлением обеспечить адекватность условий испытаний и создать дешевое испытательное оборудование.

В связи со всем вышесказанным основной целью разработки новых методов лабораторных испытаний является максимальное приближение условий испытаний к условиям реальной эксплуатации. Для этого предлагается:

- проводить испытания по программам, позволяющим моделировать внешние воздействия с учетом конкретного типа системы, на которой будут установлены ЭС, типа ЭС и места их установки в системе, а также характерных режимов работы системы;
- перейти к испытаниям по программам, имитирующим работу ЭС не только в движении, но и на стоянке; ввести в программу циклы с выключенным ЭС;
- проводить испытания по программам, учитывающим характерные особенности климатических зон, в которых производится эксплуатация системы;
- при составлении программ испытаний широко использовать данные о внешних воздействиях, полученные при испытании систем аналогов, а также путем математического моделирования.

ЛЕКЦИЯ 2

2.1 Классификация испытаний

Все применяемые методы испытаний классифицируются на две большие группы (см. рис. 2.1):

- физические испытания реальных ЭС или макетов;
- испытания с использованием моделей.

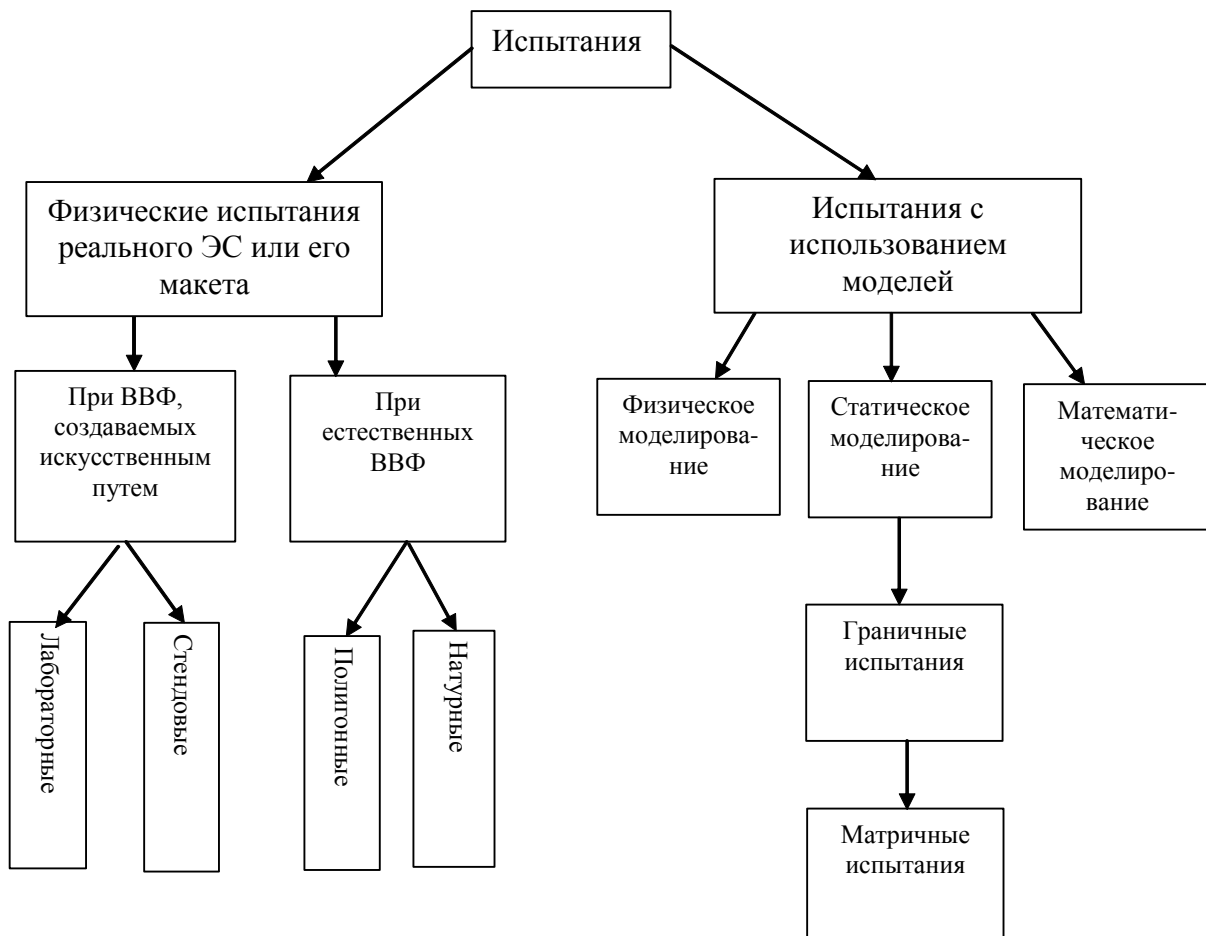


Рисунок 2.1

Физические испытания могут проводиться как при внешних воздействующих факторах, создаваемых искусственным путем с помощью испытательных стендов (*стендовые испытания*) или с помощью специальных методов и средств, применяемых в лабораторных условиях (*лабораторные испытания*), так и при естественных внешних факторах.

Лабораторные и стендовые испытания ЭС отличаются от реальной эксплуатации тем, что при их проведении не удается пока смоделировать все внешние воздействия одновременно в той случайной совокупности, которая имеет место при реальной эксплуатации. Поэтому при исследовании влияния внешних факторов наряду с лабораторными и стендовыми испытаниями проводятся также испытания ЭС в естественных условиях их эксплуатации.

Испытания в естественных условиях в зависимости от условий и места проведения делятся на два вида:

- полигонные;
- натурные.

Полигонные испытания объекта проводят на специально оборудованном полигоне. Широко распространены полигонные испытания ЭС, проводимые при испытании на воздействие внешних климатических факторов.

Натурные испытания объекта реализуются при выполнении трех основных условий:

- испытаниям подвергается непосредственно изготовленное ЭС (т.е. объект испытания) без применения моделей;
- испытания проводятся в условиях и при воздействиях на ЭС соответствующих условиям и воздействиям при ее эксплуатации;
- определяемые характеристики свойств объекта испытаний измеряются непосредственно без использования аналитических зависимостей. При этом допускается применение математического аппарата статической обработки экспериментальных данных.

К натурным испытаниям относится, в частности, *опытная эксплуатация ЭС*.

Особенностью эксплуатационных испытаний является одновременное воздействие внешних и внутренних факторов, характеризующихся случайными их сочетаниями, а также значениями, изменяющимися во времени. Эксплуатационные испытания являются по существу опытной эксплуатацией.

Цель полигонных и натурных испытаний – исследование комплексного влияния естественно воздействующих факторов на изменение параметров, свойств и механизмов отказов ЭС при их

эксплуатации и хранении. Эти испытания обеспечивают получение наиболее полной и достоверной информации о комплексном влиянии факторов окружающей среды на ЭС. По результатам полигонных и натуральных испытаний разрабатывают рекомендации по способам защиты ЭС от ВВФ.

Однако специфика натуральных испытаний заключается в их большой продолжительности, сложности и высокой стоимости. Эти испытания требуют четкой их организации и оптимального планирования. С целью ограничения объема испытаний программа их проведения должна базироваться на анализе результатов лабораторных и стендовых испытаний, а также требований, предъявляемых к ЭС.

Также можно отметить, что при определении метода физических испытаний важно правильно определить номенклатуру испытываемой аппаратуры. При проведении предварительного анализа рассматривается вся номенклатура ЭС, анализируется степень различия физических процессов деградации, вызванных ВВФ. Натурные испытания достаточно проводить только с «типичными представителями» групп ЭС, а затем результаты испытаний распространить на всю группу. Это уменьшает объем и соответственно стоимость испытаний. Основываясь на этом подходе, можно во многих случаях оценить влияние ВВФ на вновь разрабатываемое ЭС.

Испытания с использованием моделей осуществляются методами физического, статического и математического моделирования. Применение этих методов позволяет отказаться от ряда сложных физических испытаний реального ЭС или его макетов.

Физическое моделирование заключается в том, что первичный параметр объекта испытаний (процесс в элементе схемы или внешний фактор) заменяется простой физической моделью, способной имитировать изменение данного параметра.

Математическое моделирование базируется на использовании уравнений, связывающих входные и выходные параметры объекта испытаний. Эти уравнения выводятся на основании изучения конкретного ЭС и его внутренних функциональных связей, после чего и осуществляется математическое описание установленных связей с учетом ВВФ на ЭС.

Необходимость проведения огромного объема экспериментальных исследований, техническая сложность выполнения физических моделей целого ряда устройств, высокая стоимость и длительность проведения испытаний не стимулируют широкого применения методов физического и математического моделирования в практике испытаний ЭС и поэтому в данном курсе лекций рассматриваться не будут.

Более подробно остановимся на *статических методах испытаний*, частным видом которых являются *граничные испытания*.

Граничные испытания проводятся для определения зависимости между предельно допустимыми значениями параметров объекта и режимами эксплуатации. Они являются экспериментальным методом, основанным на физическом моделировании области значений первичных¹ параметров, при которых выходные параметры ЭС находятся в пределах допуска, т.е. в области безотказной работы ЭС. Однако определение области безотказной работы ЭС при одновременном изменении многих первичных параметров не представляется возможным, поэтому на практике находят граничные точки области безотказной работы ЭС при изменении какого-либо первичного параметра ЭС (параметр граничных испытаний), сохраняя значения других неизменными. В этом и состоит смысл граничных испытаний. Для его реализации используют изменение выходного параметра ЭС с помощью искусственных приемов, например меняют одно из питающих напряжений, выбранное в качестве первичного параметра граничных испытаний. Границы области, в пределах которой ЭС работает безотказно, определяются при изменении напряжения до момента отказа ЭС по исследуемому выходному параметру в случае, когда остальные первичные параметры ЭС имеют номинальные значения. Затем, при некотором отклонении одного из первичных параметров ЭС от номинального значения, снова наблюдают за выходным параметром ЭС при изменении напря-

¹ Первичными параметрами при получении модели отказов называют параметры ЭС, которые оказывают влияние на выходные параметры ЭС, такие как колебания питающих напряжений, температура окружающей среды, влажность и т.д.

жения. Ясно, что при отклонении первичного параметра в обе стороны от номинального значения выходной параметр будет выходить за пределы допуска при различных значениях напряжения. С помощью полученных при эксперименте значений строится график граничных испытаний (рис. 2.2).

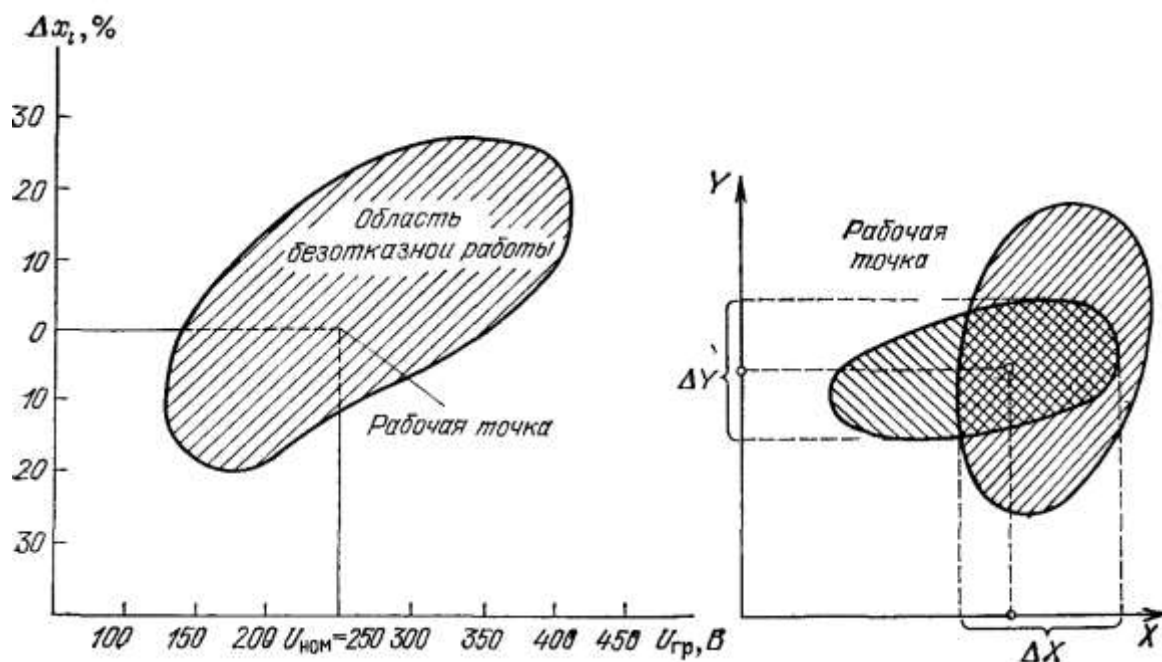


Рисунок 2.2

Этот график представляет собой геометрическое место точек отказа ЭС по выходному параметру Y при определенных значениях параметра граничных испытаний $U_{гр}$ и какого-либо другого первичного параметра X_i , т.е. $\Delta Y_{гр} = f(\Delta X_i, \Delta U_{гр})$, где $\Delta Y_{гр}$ – область изменения выходного параметра, когда он еще находится в пределах допуска, т.е. ЭС работает безотказно.

Учитывая, что в реальных условиях изменения параметров ЭС, как правило, взаимосвязаны, проводят большой объем работ по определению областей безотказной работы ряда элементов. Полученные области накладывают друг на друга. Тогда общее геометрическое место точек всех областей представляет собой область безотказной работы ЭС. Графики граничных испытаний позволяют определить правильность выбора номинальных значений параметров элементов того или иного узла ЭС, питающих напряжений, а также сравнить «запас» надежности аналогичных

узлов ЭС. Чем больше площадь области безотказной работы и дальше отстоит от ее границ рабочая точка, тем больше «запас» надежности.

Метод граничных испытаний применяется для исследования ЭС или его узлов на стадии макетирования образцов аппаратуры с целью правильного подбора параметров комплектующих элементов, выбора оптимальных вариантов схем и режима работы ЭС, а также предсказания места и времени появления постепенного отказа элемента или ЭС в целом.

Недостатком метода граничных испытаний является невозможность количественной оценки надежности, а также большая трудоемкость проведения экспериментов, не позволяющая получить данные об изменении выходных параметров ЭС при изменении комплекса внешних воздействий и взаимодействии элементов.

Развитие метода граничных испытаний привело к появлению *матричных испытаний*. Они заключаются в составлении матрицы ситуаций, которая содержит число столбцов, равное числу моделируемых параметров, а число строк, равное числу перебираемых ситуаций. Результаты испытаний записываются в виде матрицы-столбца с числом элементов матрицы, равным числу реализаций ситуаций.

Использование ЭВМ дает возможность проводить матричные испытания полностью автоматически, что ускоряет перебор ситуаций, проверку работоспособности ЭА в каждой ситуации в соответствии с заданными критериями отказа, регистрацию числа и характера отказов.

Недостатком метода матричных испытаний также является невозможность получения количественной оценки надежности и, в отличие от граничного метода, определения запас надежности.

2.2 Виды испытаний

Виды испытаний представлены на рисунке 2.3.

Некоторые виды испытаний этой классификации уже были рассмотрены выше. Остальные рассмотрим подробнее.

Испытания

По назначению	По уровню проведения	По этапу проектирования	По назначению испытаний готовой продукции	По условиям и месту проведения	По продолжительности	По виду воздействия	По результату воздействия	По определяемым характеристикам объекта
Исследовательские, Определительные, Сравнительные, Контрольные	Государственные, Межведомственные, Ведомственные.	Доводочные, Предварительные, Приемочные	Квалификационные, Предъявительские, Приемочные, Периодические, Инспекционные, Типовые, Аттестационные, Сертификационные.	Лабораторные, Стендовые, Полигонные, Натурные, С использованием моделей, Эксплуатационные	Нормальные, Ускоренные, Сокращенные	Механические, Климатические, Тепловые, Радиационные, Электрические, Электромагнитные, Магнитные, Химические, Биологические.	Не разрушающие, Разрушающие, На прочность, На устойчивость.	На надежность, на безопасность, Графические, Технологические.

Рисунок 2.2

В зависимости от назначения испытания можно разделить на исследовательские, определительные, сравнительные и контрольные.

Исследовательские испытания проводят для изучения определенных характеристик, свойств объекта и их целью является:

- определение или оценка показателей качества функционирования испытуемого объекта в определенных условиях его применения;
- выбор наилучших режимов работы объекта или наилучших характеристик свойств объекта;
- сравнение множества реализации объекта при проектировании и аттестации;
- построение математической модели объекта (оценка параметров математической модели) либо выбор математической модели из заданного множества вариантов;
- отбор существенных факторов, влияющих на показатели качества функционирования объекта.

Особенностью исследовательских испытаний является факультативный характер их проведения, и они, как правило, не применяются при сдаче готовой продукции.

Определительные испытания проводят для определения значений характеристик объекта с заданными значениями показателей точности и достоверности.

Сравнительные испытания проводят для сравнения характеристик свойств аналогичных или одинаковых объектов. На практике иногда возникает необходимость сравнения качества аналогичных по характеристикам или даже одинаковых ЭС, но выпускаемых, например, различными предприятиями. Для этого испытывают сравниваемые объекты в идентичных условиях.

Контрольные испытания проводятся для контроля качества объекта. Испытания этого вида составляют наибольшую группу испытаний.

В зависимости от уровня значимости испытаний ЭС их можно разделить на государственные, межведомственные и ведомственные.

К государственным испытаниям относятся испытания установленных важнейших видов ЭС, проводимые головной ор-

ганизацией по государственным испытаниям, или испытания, проводимые государственной комиссией.

Межведомственные испытания – это испытания ЭС, проводимые комиссией из представителей нескольких заинтересованных министерств и ведомств, или испытания приемки составных частей ЭС, разрабатываемых совместно несколькими ведомствами.

Ведомственные испытания проводятся комиссией из представителей заинтересованного министерства или ведомства.

Все эти испытания по назначению можно отнести к контрольным.

На этапе проектирования проводят доводочные, предварительные и приемочные испытания.

Доводочные испытания – это испытания, проводимые при проектировании ЭС с целью оценки влияния вносимых в ЭС изменений для достижения заданных значений показателей качества.

Предварительные испытания – это испытания опытных образцов и (или) опытных партий продукции с целью определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

Приемочные испытания – это испытания опытных образцов, опытных партий или изделий единичного производства – для решения вопроса о целесообразности поставки этой продукции (ЭС) на производство и (или) использования по назначению.

По назначению доводочные испытания можно отнести к исследовательским, а предварительные и приемочные – к контрольным.

По назначению испытаний готовой продукции испытания бывают: квалификационные, предъявительские, приемосдаточные, периодические, инспекционные, типовые, аттестационные, сертификационные.

Квалификационные испытания проводят уже на установочной серии или при первой промышленной партии ЭС, т.е. на стадии освоения производства ЭС. Целью их является оценка готовности предприятия к выпуску продукции данного типа в заданном объеме.

Предъявительские испытания ЭС проводятся обязательно службой технического контроля предприятия-изготовителя перед

предъявлением ее для приемки представителям заказчика, потребителям или другим органам приемки.

Приемосдаточные испытания проводятся в освоенном производстве. Это контрольные испытания изготовленной продукции. Приемосдаточные испытания проводятся, как правило, изготовителем продукции, а если на предприятии-изготовителе имеется представитель заказчика, то при его участии.

Периодические испытания проводят с целью контроля стабильности качества продукции. Данные испытания проводят в объеме и в сроки, установленные НТД. Этот вид испытаний обязательно проводится в начале выпуска ЭС на заводе-изготовителе и при возобновлении производства после временного прекращения. Результаты периодических испытаний распространяются на все партии продукции, выпущенные в течение определенного времени. Периодические испытания включают в себя такие испытания, при которых вырабатывается часть ресурса ЭС (длительная вибрация, многократные удары, термоциклы); это довольно дорогостоящие испытания, поэтому они всегда являются выборочными.

Инспекционные испытания – это особый вид контрольных испытаний. Они проводятся в выборочном порядке с целью контроля стабильности качества установленных видов продукции специально уполномоченными организациями.

Типовые испытания – это контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, рецептуру или технологический процесс.

Аттестационными называют испытания, проводимые для оценки уровня качества продукции при ее аттестации по категориям качества.

Сертификационные испытания – это контрольные испытания продукции, проводимые с целью установления соответствия характеристик ее свойств национальным и (или) международным НТД.

В зависимости от условий и места проведения испытания делятся на лабораторные, стендовые, полигонные, натурные, с использованием моделей, эксплуатационные. Эти типы испытаний мы рассмотрели ранее.

В зависимости от продолжительности все испытания подразделяются на нормальные, ускоренные и сокращенные.

Нормальные испытания – это такие испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках свойств объекта в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации.

Ускоренные испытания – это такие испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках свойств объекта в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях.

Сокращенные испытания проводятся по сокращенной программе испытаний.

Испытания ЭС в соответствии с внешними воздействующими факторами делят на: механические, климатические, тепловые, радиационные, электрические, электромагнитные, магнитные, химические, биологические.

Очевидно не все внешние воздействия можно имитировать, и они не всегда могут быть приложены совместно, как это бывает в реальных условиях.

Поэтому необходимо установить, каким внешним воздействиям должно подвергаться испытываемое ЭС, каким будет уровень, периодичность, последовательность смены этих воздействий, а также продолжительность работы ЭС в различных режимах. При выборе внешних воздействующих факторов при испытаниях ЭС необходимо учитывать:

- вид техники, в которой используется ЭС (наземная, воздушная, морская и т.д.);
- уровень обобщения объекта испытаний (радиотехнические комплексы и функциональные системы, электронная аппаратура, радиоэлектронные блоки, комплектующие изделия, материалы), в зависимости от которого число выбранных для испытаний ВФ может уменьшаться или увеличиваться;
- климатический регион последующей эксплуатации ЭС;
- условия применения по назначению транспортировки и хранения ЭС.

По результату воздействия испытания делятся на разрушающие, неразрушающие, испытания на прочность и устойчивость.

Разрушающими испытания называются если в процессе их применяются разрушающие методы контроля или воздействующие на объект ВФ приводят к непригодности его для дальнейшего применения.

Неразрушающими называют испытания, в процессе которых применяются неразрушающие методы контроля и воздействие ВФ на объект испытания никак не сказывается на его дальнейшей работоспособности.

Испытаниями на прочность называют испытания, которые проводят до момента достижения разрушения объекта или до момента, когда значения его параметров выходят за установленные пределы. При этом виде испытаний ВВФ увеличивается постепенно до возникновения отказа испытуемого изделия.

Испытаниями на устойчивость называют испытания на сохранение работоспособности объекта как после воздействия ВФ, так и во время воздействия.

По определяемым характеристикам объекта испытания делятся: на надежность, на безопасность, граничные, технологические.

Испытаниями на надежность называют такие испытания, в результате которых оценивается заложенная в ЭС надежность. При этих испытаниях фиксируется:

- наработка;
- моменты возникновения отказов;
- общее число отказов;
- режимы работы ЭС, при которых появились отказы;
- время восстановления работоспособности;
- причины возникновения отказов.

Результаты используются для определения фактических показателей надежности и сравнения их с заданными в ТЗ и ТУ.

Поскольку надежность характеризуется совокупностью свойств, обеспечивающих безотказность, сохраняемость, ремонтпригодность, долговечность и транспортабельность ЭС, то и испытания на надежность включают в свою очередь испытания объекта на безотказность, сохраняемость, ремонтпригодность, долговечность и транспортабельность.

Под безотказностью понимают свойство ЭС непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных режимах и условиях эксплуатации. При испытаниях на безотказность оценивают среднюю наработку до отказа и вероятность безотказной работы ЭС по установленной методике при работе ЭС в течение заданного интервала времени в определенных условиях.

Сохраняемость – свойство ЭС непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение хранения ЭС в заданных условиях и после него. Испытание на сохраняемость вызвано тем, что хранение представляет собой один из элементов эксплуатации ЭС. Целью проведения испытаний на сохраняемость являются:

- проверка ЭС на сохраняемость, установленную в НТД;
- накопление информации о техническом ресурсе сохраняемости;
- разработка рекомендаций по повышению сохраняемости;
- уточнение норм на показатели сохраняемости.

Под ремонтпригодностью понимается свойство ЭС, выражающееся в приспособленности его к восстановлению исправности и поддержанию заданного ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. При испытаниях на ремонтпригодность оценивают среднее время, затраченное на обнаружение, поиск причины и устранение последствий отказа.

Под долговечностью ЭС (восстанавливаемого) понимают его свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. **Предельное состояние** – это состояние ЭС, при котором дальнейшая его эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого ухода заданных параметров за установленные нормы или снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой. Критерии предельного состояния устанавливаются НТД. Нарботку ЭС от начала эксплуатации до наступления предельного состояния называют *техническим ресурсом*.

Под долговечностью невосстанавливаемых ЭС называют наработку от начала эксплуатации до момента возникновения отказа.

Испытания на долговечность проводят для определения количественных показателей надежности. Они проводятся до наступления предельного состояния ЭС.

В результате этих испытаний определяют гамма-процентный ресурс ЭС. *Под гамма-процентным ресурсом* понимают наработку, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ . Опытное значение подсчитывают по формуле

$$\gamma = (1 - d/n_d) \cdot 100\%,$$

где d – число отказов за время хранения, n_d – объем выборки при испытании на долговечность.

Испытания на транспортабельность обусловлены требованиями по приспособленности ЭС к перевозке различными видами транспорта и типами транспортных средств, а также требованиями сохранения надежной работы ЭС после транспортировки. Проверку влияния транспортировки на работоспособность ЭС проводят в рабочем режиме сопоставлением показателей ЭС в исходном состоянии и после транспортировки.

Испытания на безопасность проводят в целях проверки качества конструкции и изготовления объекта, обеспечивающего для потребителя его безопасную работу даже в случаях небрежного с ним обращения. При этом должна обеспечиваться защита потребителя:

- от поражения электрическим током;
- от воздействия высоких температур, приводящих к самовозгоранию;
- от воздействия рентгеновского излучения или взрыва (при наличии в изделии электронно-лучевых трубок);
- от последствий механической неустойчивости изделий и т.д.

Граничные испытания мы рассматривали ранее.

Технологические испытания служат для оценки влияния процессов изготовления изделий на их качество.

В заключение можно сказать, что выбор видов нагрузок в каждой категории испытаний должен учитывать многообразие условий возможного использования ЭС и механизмов отказов, возможность проверки ЭС в условиях, приближающихся к наиболее тяжелым, встречающимся при эксплуатации. Совокупность испытаний, входящих в каждую категорию в зависимости

от назначения ЭС, может быть разделена по степени жесткости. Последовательность проведения различных видов испытаний в каждой группе оговаривается в программе испытаний.

ЛЕКЦИЯ 3

3.1 Способы проведения испытаний

В настоящее время в лабораторных и стендовых испытаниях применяют следующие способы проведения испытаний:

- последовательный;
- параллельный;
- последовательно-параллельный;
- комбинированный.

При последовательном способе проведения испытаний один и тот же объект испытаний последовательно подвергается всем предусмотренным программой видам испытаний. Исключение составляют испытания при воздействии большинства химических и биологических ВВФ. Эти испытания проводят на различных выработках. Важнейшим условием проведения последовательных испытаний является соблюдение определенного порядка воздействия внешних факторов. Для скорейшего выявления потенциально ненадежных образцов и, следовательно, сокращения времени испытаний предусматривают такую последовательность ВВФ, при которой вначале действуют наиболее сильно влияющие на данный объект ВФ. Однако при этом теряется большая часть информации о влиянии других факторов, которая могла быть получена при их воздействии. Поэтому чаще на практике рекомендуется начинать испытания с воздействия на ЭС наименее жестких внешних факторов. Но при этом значительно увеличивается время проведения испытаний. Как видно, последовательность проведения испытаний ЭС играет важную роль. Поэтому для каждого вида ЭС устанавливается своя последовательность, которая указывается в ТУ или программе испытаний.

Характерной особенностью последовательного способа проведения испытаний является наличие эффекта накопления деградиционных изменений в физической структуре объекта испытаний по мере перехода от одного внешнего ВФ к другому, в результате чего каждое воздействие предыдущего фактора оказывает влияние на

результат испытаний при воздействии последующего, что, в свою очередь, усложняет интерпретацию результатов испытаний.

При параллельном способе проведения испытаний образец подвергается одновременному воздействию различных ВФ одновременно (параллельно) на нескольких выборках. Такой способ позволяет получить больший объем информации за более короткий промежуток времени, чем последовательный способ. Однако параллельный способ требует значительно большего числа испытываемых изделий, чем последовательный.

Последовательно-параллельный способ является компромиссным между последовательным и параллельным. Он позволяет в каждом конкретном случае более эффективно использовать преимущества того или иного способа. При последовательно-параллельном способе все изделия, отобранные для испытаний, разбиваются на несколько групп, которые испытываются параллельно. В каждой из групп испытания проводят последовательно. В данном случае все испытания должны быть разбиты на группы, число которых равно числу испытываемых групп. По своему составу группы испытаний должны формироваться так, чтобы, с одной стороны, продолжительность испытаний во всех группах была примерно одинаковой, а с другой, чтобы условия проведения объединенных в группу видов испытаний были близки к реальным.

Рассмотрим пример группирования различных видов испытаний при последовательно-параллельном способе их проведения.

Группа	Вид испытаний
1	1. Виброустойчивость 2. Вибропрочность при длительном воздействии 3. Ударная прочность 4. Ударная устойчивость 5. Устойчивость к воздействию центробежного ускорения 6. Воздействие одиночных ударов с большим ускорением 7. Циклическое воздействие температуры 8. Высотность 9. Воздействие солнечной радиации 10. Воздействие пыли (пылеустойчивость и пылезащищенность)
2	1. Теплоустойчивость при длительном воздействии 2. Воздействие морского тумана

3	1. Влагустойчивость при длительном воздействии 2. Холодоустойчивость 3. Воздействие инея и росы
4	1. Грибоустойчивость

Однако каждый из рассмотренных способов проведения испытаний предусматривает отдельное воздействие на объект ВФ, что является существенным отличием от реальных условий эксплуатации.

При комбинированном способе проведения испытаний на объект испытания одновременно воздействуют несколько внешних факторов (в основном, два).

Выбор сочетаний совместных воздействий различных факторов на испытываемое ЭС может производиться в соответствии с таблицей 6.1.

Основной причиной ограничения применения комбинированного способа проведения испытаний является отсутствие необходимого оборудования, а также сложность и дороговизна их проведения.

В заключение следует отметить, что многообразие разрабатываемой и выпускаемой аппаратуры не позволяет дать однозначной рекомендации по выбору способа и порядка проведения испытаний. Но можно с полной уверенностью сказать, что выбор того или иного алгоритма проведения испытаний должен проводиться исходя из условий его последующей эксплуатации, чтобы в процессе испытаний механизм отказов усиливался и все потенциально ненадежные образцы были обязательно выявлены.

3.2 Планирование испытаний

Проведению испытаний предшествует этап планирования, по результатам которого устанавливается необходимая совокупность данных о видах испытаний, об объемах испытываемых партий (выборки или пробы), о нормах и допусках на контролируемые параметры и правила принятия решений.

Планирование испытаний имеет целью оптимизировать эксперимент по оценке (контролю) свойств ЭС. Такая оптимизация проводится по двум основным критериям, это – достоверность (точность) оценки свойств или экономическая эффективность испытаний.

В результате планирования испытаний необходимо ответить на следующие вопросы:

- целесообразно ли проводить испытания;
- какие должны быть характеристики плана испытаний.

Таблица 6.1

Повышенная температура																
Влажность	1	1														
Дождь	x	1-	4													
Туман (морской)	6	x	4	2												
Солнечная радиация	1	6	1-	7	6											
Грибообразование	4	6	4	4	4	6										
Пыль и песок	6	1-	1-	X	1-	1-	X									
Низкое атмосферное давление	1	3-	1	X	X	1-	X	x								
Ветер	1-	3	X	3	6	1	X	3	6							
Загрязнение воздуха	X	X	1	5	1	X	X	1-	X	5						
Соляной туман	1	6	6	6	1-	1	X	1-	x	1	x					
Вибрация	1	1	1-	X	X	1	X	1-	1-	X	X	1-				
Звуковое давление	1	1-	X	X	X	X	X	X	X	1-	X	X	X	X	1	
Удар	1	1	X	X	X	X	X	X	1-	X	X	X	X	X	X	
Ионизированные газы	1	6	X	X	X	1	6	X	5	X	X	X	X	X	X	
Космическая радиация	X	X	X	X	X	5	X	X	3-	X	X	X	X	X	X	1-
Комбинированное воздействие ВВФ	Повышенная температура	Пониженная температура	Влажность	Дождь	Туман (морской)	Солнечная радиация	Грибообразование	Пыль и песок	Низкое атмосферное давление	Ветер	Загрязнение воздуха	Соляные брызги	Вибрация	Звуковое давление	Удар	Ионизированные газы

1 – механический износ; 2 – ухудшение работоспособности; 3 – механический износ и ухудшение работоспособности; 4 – взаимоисключающие факторы; 5 – один фактор влияет на другой; 6 – взаимоисключающий фактор; x – сочетание не рассматривается.

Знак «минус» означает, что совместное действие факторов уменьшает их влияния.

Целесообразность проведения испытаний определяют исходя из ожидаемого экономического эффекта.

Известно, что с ростом затрат на обеспечение качества (затраты на испытания, включая затраты на контроль) растет уровень качества и снижаются потери от брака и отказов. В связи с этим каждому показателю качества соответствует определенное соотношение между затратами, при которых введение испытаний экономически оправдано.

Пусть введение испытаний позволяет уменьшить число отказов у потребителя за определенный период на Δn , при этом у изготовителя число забракованных изделий возросло на Δn . При стоимости отказа C_0 (затраты на обнаружение отказа, ремонт, потери в результате простоя на ремонте, расходы на ликвидацию последствий отказа), стоимости изготовления одного отказавшего изделия $C_{изг}$ и стоимости испытаний $C_{исп}$ экономически оправдано введение испытаний при

$$\Delta n C_0 / (\Delta N C_{изг} + C_{исп}) > 1, \quad (1)$$

где ΔN – рост числа забракованных изделий.

Необходимые для оценки по формуле (1) первоначальные данные могут быть получены по результатам анализа экономических параметров предшествующих образцов или конструктивно-технологических аналогов.

Определив целесообразность проведения испытаний, приступают к их непосредственному планированию, в ходе которого разрабатывается программа испытаний и определяются характеристики плана испытаний.

3.3 Содержание программы испытаний

Программа испытаний является основополагающим документом для проведения испытаний на стадии разработки и производства.

Программы испытаний различают по определяемым характеристикам ЭС. Они могут быть предназначены для проведения функциональных испытаний и испытаний на надежность. При

разработке программ функциональных испытаний нужно предусмотреть, что их результатом является определение показателей качества и, главным образом, определение технических характеристик изделий, а при составлении программ испытаний на надежность, главным является общая оценка случайного события результата испытаний: положительный исход или отказ, а также установление времени работы до отказа.

Также следует различать программы испытаний, проводимые на стадиях разработки и производства, т.к. их задачи различаются.

Правильная организация испытаний на начальном этапе разработки ЭС позволяет сократить время на разработку данного ЭС. Это достигается за счет осуществления следующих мероприятий:

- проведения лабораторных испытаний прототипов разрабатываемых изделий с целью выдать проектировщикам данные и характеристики по результатам испытаний для построения математических и физических моделей и их дальнейшего исследования;
- проведения лабораторных корреляционных испытаний макетов в целях использования результатов для сравнения с данными, полученными в процессе математического моделирования и внесения необходимых поправок в модель;
- уточнения в процессе лабораторных испытаний правильности задания внешних воздействий и проверки на модели уточненных значений сигналов, имитирующих внешние воздействия;
- выявление в процессе лабораторных испытаний нерешенных проблем.

По результатам испытаний на стадии разработки должны быть даны рекомендации по усовершенствованию принципиальных схем и конструкций ЭС.

Основанием для разработки программы испытаний являются ТУ или ТЗ на ЭС. Программа испытаний должна предусматривать решение следующих основных задач.

1. Выбор объекта испытаний проводится на основе классификации изделий по функционально-конструктивному признаку (классы деталей, узлов, приборов, комплексов и систем) С точки

зрения испытаний все классы изделий можно разделить на две группы:

- низшую,
- высшую.

Низшая группа включает в себя изделия, не имеющие самостоятельного эксплуатационного назначения (детали, узлы и блоки). Высшая группа соответственно содержит в себе изделия, имеющие самостоятельное эксплуатационное назначение.

Решение о проведении испытаний для низшей или высшей группы принимается конкретно для каждого случая.

Испытания изделий низшей группы позволяет применять более простое, дешевое и менее объемное испытательное оборудование. При таких испытаниях оказывается возможным быстро обнаружить слабые места конкретного изделия, так как на испытываемое изделие в процессе испытаний не оказывают влияния взаимодействующие с ним элементы. При этом возможно более быстрое принятие мер по усовершенствованию изделий и устранению обнаруженных неисправностей.

Испытания изделий высшей группы обеспечивают получение результатов, учитывающих взаимодействие различных узлов и блоков при меньшем числе образцов и за более короткое время.

В зависимости от класса изделий в программе испытаний может быть предусмотрена замена отказавших элементов в процессе испытаний.

2. Определение назначения (цели) испытаний, которое зависит от того, на какой стадии «жизненного» цикла изделия предполагается проводить испытания и какие характеристики изделия представляют интерес. В зависимости от стадии жизненного цикла изделия выбирают условия и место проведения испытаний.

Очевидно, что на стадии разработки, когда осуществляются исследовательские испытания, наиболее вероятным является проведение лабораторных испытаний. Однако в некоторых случаях возможно осуществление и полигонных испытаний.

На стадии производства также наиболее широкое применение получили лабораторные испытания. При этом возможно проведение стендовых, полигонных и даже эксплуатационных испытаний.

3. Выбор состава видов испытаний на воздействие внешних факторов осуществляется на основании требований, предъявляемых НТД на изделие, а также стандартов, предусматривающих перечень видов испытаний для изделий, предназначенных для эксплуатации только в районах с тропическим или холодным климатом. Выбирая виды испытаний, необходимо учитывать их различие не только по виду воздействующего фактора, но и по методу и режиму проведения. Важно определить, какие виды испытаний объединить для проведения комбинированных испытаний. В случае испытаний на стадии разработки следует установить, какие виды испытаний можно моделировать, а какие необходимо осуществлять с применением средств испытаний. Решение этого вопроса зависит от наличия испытательного оборудования, стоимости испытаний и от наличия высококвалифицированного персонала.

4. Оценка условий и места проведения испытаний зависит от стадии жизненного цикла изделия, а также от его технических особенностей. Очевидно, что на стадиях разработки и производства наибольшее применение имеют лабораторные, стендовые и полигонные испытания. Натурные и эксплуатационные – могут быть реализованы в целях получения необходимых данных для усовершенствования изделия.

5. Выбор испытательных режимов проводится в соответствии с действующими НТД на испытуемое изделие. На практике пользуются тремя видами норм на значения параметров испытательных режимов:

- предельные нормы;
- испытательные нормы;
- эксплуатационные нормы.

Предельные нормы это нормы, на которые рассчитывают изделия, приводятся в техническом отчете, и по ним испытания не проводятся.

Испытательные нормы, характеризующиеся степенями жесткости, значения которых зависят от климатического и механического испытания изделия, указываются в ТУ. Испытательные нормы отличаются от предельных на величину производственного допуска. По ним проводятся испытания в процессе производства.

Эксплуатационные нормы ниже испытательных, указываемых в ТУ. В соответствии с эксплуатационными нормами разрешается эксплуатация изделий, и по ним проводятся испытания в процессе эксплуатации.

6. Определение контролируемых параметров испытываемых изделий, их значений и допустимых пределов отклонений осуществляется при различных внешних воздействиях. Одновременно должен быть определен перечень других показателей качества, которые подлежат контролю, а также допустимые пределы отклонения их значений в процессе испытаний. Также должны быть указаны режимы работы испытываемых изделий в процессе испытаний и продолжительность работы в данных режимах. Для контроля состояния ряда изделий необходимо уделять большое внимание визуальному осмотру и осуществлению методов неразрушаемого контроля.

7. Установление продолжительности каждого вида испытаний зависит от назначения (цели) испытаний, а также от определяемых характеристик изделия. При проведении функциональных испытаний продолжительность испытаний обычно задается НТД. Однако необходима разработка методик расчета продолжительности испытаний в зависимости от условий и продолжительности реальной эксплуатации. При испытаниях на надежность в основу разработки должны быть положены вероятностные и статистические методы, позволяющие обеспечить научно обоснованное планирование испытаний и оценку результатов. При этом продолжительность испытаний зависит от времени наработки на отказ для восстанавливаемых изделий и средней наработки на отказ для невосстанавливаемых изделий (в таком случае она может быть определена расчетным путем). Также следует установить, какова должна быть продолжительность испытаний в зависимости от того, планируется ли проведение нормальных, ускоренных или сокращенных испытаний.

8. Выбор последовательности (способа) проведения испытаний является одним из основных элементов программы испытаний – в ряде случаев может предусматриваться в НТД на изделие. В принципе, для обеспечения достоверности испытаний при выборе последовательности их проведения следует исключать

сочетания воздействий ВФ, не соответствующих условиям эксплуатации.

9. *Оценка общей продолжительности испытаний на все виды воздействия* проводится на основании установленных ранее продолжительностях каждого вида испытаний и последовательности их проведения. При этом в случае выбора параллельно-последовательного способа может возникнуть необходимость пересмотра видов испытаний, включенных в параллельные группы для выравнивания общей продолжительности испытаний во всех группах.

10. *Определение количества испытываемых изделий*, так же как и установление продолжительности каждого вида испытаний, зависит от назначения (цели) испытаний и определяемых характеристик. Только при испытаниях на надежность число испытываемых изделий может быть определено расчетным путем при условии, что заданы вероятность безотказной работы, риск заказчика и поставщика, а также закон распределения отказов. Принято считать, что для восстанавливаемых изделий внезапные и постепенные отказы следуют экспоненциальному закону, а для невосстанавливаемых – биномиальному закону. Установив количество изделий, необходимых для испытаний, следует отобрать их из числа проверенных ОТК и в специальном документе указать номера.

11. *Установление периодичности (срока) проведения испытаний изделий* зависит от того, к какой группе они принадлежат. Периодичность проведения испытаний изделий низшей группы обычно больше, чем у высшей группы изделий, но в обоих случаях она зависит от вида производства и количества изделий, выпускаемых за контролируемый период. Периодичность испытаний следует указывать в ТУ на изделие; отбор изделий для испытаний осуществляется в порядке, предусмотренном в ТУ, из числа прошедших приемо-сдаточные испытания.

12. *Выбор средств испытаний и определение характеристик приспособлений* для установки испытываемых изделий в климатические камеры и на столах стендов для механических испытаний, в зависимости от конструкции, габаритных размеров и массы испытываемых изделий, проводится с учетом всех запланированных видов испытаний, а также требований к испытатель-

ным режимам и допускам на них. От качества приспособлений существенно зависит достоверность результатов испытаний. Для некоторых изделий приспособления унифицированы, и на них имеются НТД. В принципе необходимо, чтобы для изделий одного типа при испытаниях на различных предприятиях использовались одинаковые приспособления. Это обеспечивает идентичность условий проведения испытаний и повышает достоверность при проведении сравнения результатов испытаний.

13. *Выбор средств измерений*, используемых для контроля значений параметров изделий с заданными допусками, производимого до испытаний, во время них и после испытаний, завершается оформлением перечня с указанием их типов. Результаты этого контроля являются основными критериями оценки качества испытываемых изделий.

14. *Разработка требований автоматизации процесса испытаний, регистрации и обработки результатов испытаний* предусматривает применение ЭВМ, позволяющих обеспечить управление процессом испытаний, сбор измерительной информации, обработку сигналов, интерпретацию данных испытаний с представлением результатов в удобной форме, а также динамическое моделирование процессов испытаний. Для реализации перечисленных функций ЭВМ должна быть оснащена соответствующим программным обеспечением. При необходимости возможно совместное применение ЭВМ и средств измерений (например ЭВМ и газоанализатор, ЭВМ и самопишущий вольтметр и т.д.).

15. *Метрологическое обеспечение процесса испытаний*, реализуемое аттестацией всего испытательного оборудования и проверкой средств измерения значений параметров испытательных режимов и испытываемых изделий. Для осуществления аттестации должны использоваться специально предусмотренные НТД средства измерения, обладающие требуемыми точностными характеристиками. Аттестация должна осуществляться с заданной периодичностью.

Проведение испытаний предусматривает *соблюдение правил техники безопасности и производственной санитарии*. Наряду с общими требованиями, излагаемыми в соответствующих НТД, для различных видов испытаний должны предусматриваться специальные требования, приводимые в методиках испытаний.

В программе испытаний следует указать организацию, которая должна проводить испытания, и организации, участвующие в испытаниях. Помимо всего, в программе испытаний должно предусматриваться материально-техническое обеспечение испытаний, в том числе перечень и сроки поставок испытуемых изделий.

Кроме того, в программе испытаний указываются:

- состав участников испытаний;
- порядок их доступа к проведению испытаний;
- распределение обязанностей по проведению испытаний и составлению отчетной документации.

В заключение должны приводиться требования к отчетности и формулировка рекомендаций о дальнейшем использовании испытуемых изделий. При этом указываются критерии, которыми следует руководствоваться при решении вопроса об использовании испытуемого изделия после завершения всей программы испытаний (списание и уничтожение, ремонт и техническое обслуживание с последующим применением по прямому назначению с ограничениями или без).

ЛЕКЦИЯ 4

4.1 Особенности программы испытаний на надежность

При разработке испытаний на надежность нужно исходить из целей испытаний, выбора объектов и специфики показателей надежности. Кроме того, испытания на надежность различаются по цели их проведения:

- *определяющие,*
- *контрольные.*

Определяющие испытания, проводимые для нахождения фактических значений показателей надежности, являются источником основной статистической информации на стадиях исследований и разработки ЭС. Особенностью разработки программы определяющих испытаний на надежность является необходимость установления:

- условий испытаний;
- перечня показателей надежности, подлежащих определению;
- методов проведения ускоренных испытаний и обработки основной и дополнительной информации, позволяющей определить значения показателей надежности при малом числе наблюдений.

Контрольные испытания. Их особенностью является организация и проведение испытаний, программа которых основывается на заданных значениях показателей надежности. Результаты контрольных испытаний должны подтвердить соответствие определенных значений показателей надежности заданным значениям.

Известно, что при выборе для испытаний изделий низшей группы вероятность их безотказной работы была высока, так как только при этом условии возможно обеспечить большое значение безотказной работы изделия высшей группы.

$$P(t)_{\text{изд}} = \prod_{i=1}^n P(t)_i, \quad (2)$$

где $P(t)_i$ – вероятность безотказной работы i -го элемента; n – число элементов системы.

Для получения больших значений $P(t)_i$ изделий низшей группы необходимо увеличить число испытываемых изделий и продолжительность их испытаний. Совокупность количества испытываемых изделий, видов испытаний и суммарной продолжительности всех видов испытаний принято называть *объемом испытаний*. Таким образом, чем выше требования к надежности, тем больше объем испытаний.

К особенностям испытаний на надежность следует отнести то, что в зависимости от требований к $P(t)$ производят расчет количества испытываемых изделий и определяют продолжительность испытаний.

Основной задачей, которую необходимо решать при разработке программы контрольных испытаний на надежность, является определение продолжительности испытаний и количества испытываемых изделий. В зависимости от вида испытываемого изделия и от того, какие параметры надежности необходимо определить, различают испытания *с восстановлением* и *без восстановления*.

При испытаниях с восстановлением отказавшее изделие заменяется исправным, и таким образом в процессе испытания находится неизменное число изделий.

При испытаниях без восстановления отказавшие изделия не заменяются.

В заключение необходимо отметить, что наряду с разработкой программы испытаний на надежность необходимо разработать ряд специальных методик:

- методику проведения испытаний, предусматривающую условия, режимы и объемы испытаний, а также перечень показателей надежности, подлежащих определению;
- методику оценки показателей надежности с учетом требований к точности и достоверности;
- методику обработки основной и дополнительной информации с рекомендацией о правилах принятия решений по соответствию показателей надежности требованиям НТД.

4.2 Содержание методики проведения испытаний

Методикой испытаний называют технологический процесс проведения испытаний, оформленный в самостоятельный документ или изложенный в программе испытаний или в НТД.

Основное требование к методике испытаний – *обеспечить максимальную эффективность процесса испытаний и минимально возможную погрешность полученных испытаний.*

Методика испытаний является организационно-методическим документом, обязательным к выполнению. Осуществление испытаний по единым методикам, устанавливающим правила определения одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств изделий, является одним из элементов обеспечения единства испытаний и повышения качества. Методики испытаний могут быть:

- типовыми;
- рабочими.

Типовая методика предназначена для групп однородных изделий и содержит общие для них требования к проведению испытаний.

Рабочая методика предназначена для испытания определенного вида изделий или отдельных изделий на стадии разработки. Она разрабатывается с учетом свойств конкретных типов испытательного оборудования и средств измерений.

Методика включает в себя правила применения определенных принципов и средств испытаний, а также условия их осуществления. В содержание методик входит рассмотрение следующих основных положений.

1. Цели испытаний.

После формулировки цели испытаний на воздействие одного из ВФ могут приводиться данные по назначению изделия, области его применения, характеристик свойств или значений параметров, подлежащих контролю в процессе испытаний с указанием допустимых значений точности. При этом возможна ссылка на НТД на испытываемое изделие.

2. Средства испытаний.

Приводятся требования к средствам испытаний, включающие испытательное оборудование, средства измерений и другие технические средства, необходимые для проведения испытаний.

Применяемые средства испытаний должны обеспечивать их проведения в соответствии с требованиями ТУ и программы испытаний (ПИ). Испытательное оборудование должно давать:

- возможность установления заданных испытательных режимов,
- возможность их ручного и автоматического регулирования,
- задание и поддержание характеристик условий проведения испытаний,
- задание и поддержание значений параметров в допустимых пределах с соблюдением норм точности их воспроизведения.

Необходимо, чтобы оборудование позволяло вести автоматическую запись и программное управление режимами испытаний, а также вести учет времени наработки.

Оборудование должно иметь электровыводы, обеспечивающие подачу питающих напряжений и испытательных сигналов на испытуемые изделия (при испытании ЭС под нагрузкой), а также измерение значений их параметров. Уровни электрических и магнитных помех, а также уровень акустических шумов, создаваемых оборудованием, должны быть минимальными и не превышать санитарно-технические нормы.

В оборудовании необходимо предусмотреть световую или звуковую сигнализацию о его неисправности и предельную аварийную сигнализацию его отключения.

Применяемые средства должны быть выполнены в полном соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации и своевременно аттестованы. Аттестация испытательного оборудования и оснастки предусматривает определение нормативных точностных характеристик испытательного оборудования, их соответствие НТД и установление пригодности этого оборудования к работе.

Если в процессе испытаний предполагается расходование каких-либо материалов, то должны быть указаны нормы их расхода.

3. Процесс проведения испытаний.

Процесс проведения испытаний должен предусматривать:

- порядок отбора, подготовки и хранения изделий для испытаний,

- совокупность технических характеристик режимов испытаний, допустимых пределов их значений и норм точности их воспроизведения;
- допустимые пределы значений характеристик свойств испытываемых изделий;
- последовательность операций и их описание;
- критерии прекращения испытаний.

Если управление процессом испытаний осуществляется с помощью ЭВМ, то должен быть разработан соответствующий алгоритм.

Первая операция – предварительная выдержка, предназначенная для достижения изделием определенного стационарного состояния за счет нахождения его в нормальных климатических условиях. При этом устраняется или частично нейтрализуется воздействие предыдущих условий на изделие. Выдержка проводится в течение времени, предусмотренного в ТУ или ПИ.

Вторая операция – предварительные измерения значений параметров изделия для установления его работоспособности.

Третья операция – установка изделия для испытаний.

Четвертая операция – контрольное измерение значений параметров изделий перед началом испытаний

Пятая операция– выдержка изделия под ВВФ в течение заданного времени, время выдержки отсчитывается с момента наступления установившегося режима.

Шестая операция – измерение значений параметров испытываемых изделий в процессе испытаний (в зависимости от требований ТУ или ПИ эта операция в некоторых случаях может не выполняться).

Седьмая операция – восстановление, т.е. выдержка изделия при отсутствии воздействия внешних факторов для стабилизации свойств изделия перед заключительными измерениями.

Восьмая операция – заключительные измерения в целях установления влияния на изделие внешних воздействующих.

4. Заключение.

В заключении приводится правило принятия выводов и заключений по результатам испытаний, даются рекомендации по разработке алгоритмов обработки полученных данных. В зависи-

мости от требований могут разрабатываться алгоритмы нахождения значений оцениваемых характеристик испытуемых изделий, алгоритмы преобразований данных значений параметров изделий к виду, предусмотренному правилами принятия решений об испытуемом изделии, а также алгоритмы оценки точности и (или) достоверности результатов испытаний.

ЛЕКЦИЯ 5

5.1 Механические испытания ЭС

Механические испытания ЭС позволяют выявить наличие дефектов, определить динамические характеристики испытываемых изделий, провести оценку влияния конструктивных факторов на параметры качества ЭС, проверить соответствие параметров ЭС при механическом воздействии требованиям ТУ.

Разработаны следующие виды механических испытаний:

- На обнаружение резонансных частот.
- На виброустойчивость.
- На вибропрочность.
- На ударную прочность.
- На воздействие одиночных ударов.
- На воздействие линейных (центробежных) нагрузок (ускорений).
- На воздействие акустических шумов.

Исследования различных видов механических испытаний показали, что наибольшее влияние на ЭС оказывает сочетание вибрационных нагрузок и одиночных ударов, остальные виды механических воздействий являются дополнительными.

Число видов испытаний и их последовательность зависят от:

- назначения ЭС;
- условий эксплуатации ЭС;
- типа производства.

К примеру, в программу испытаний опытных образцов следует включить все виды испытаний, а для образцов из серийного производства – только испытания, предусмотренные в НТД или ТУ.

Для начала рассмотрим испытания, связанные с воздействием вибрации.

5.1.1 Методы испытаний на воздействие вибрации

При испытаниях на воздействие вибрации наибольшее распространение получили следующие методы проведения испытаний:

- метод фиксированной частоты синусоидальной вибрации;

- метод качающейся частоты;
- метод широкополосной случайной вибрации;
- метод узкополосной случайной вибрации.

Иногда в лабораторных условиях проводят испытания на воздействия реальной вибрации.

Испытания методом фиксированных частот синусоидальной вибрации проводят путем установки заданных значений параметров вибрации на фиксированной частоте. Испытания могут осуществляться:

- на одной фиксированной частоте;
- на ряде частот механического резонанса;
- на ряде частот, заданных в рабочем диапазоне.

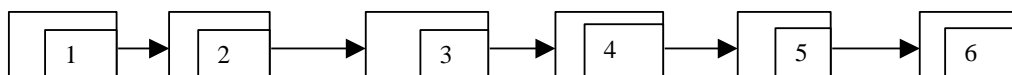
Испытания на одной фиксированной частоте $f(i)$ в течение заданного времени t_n с определенной амплитудой ускорения (перемещения) малоэффективны. Т.к. вероятность того, что изделие в процессе эксплуатации или транспортировки подвергается воздействию вибрации на одной частоте, очень мала. Данный вид испытаний проводится в процессе производства для выявления некачественных паянных и резьбовых соединений, а также других дефектов производства.

Испытания методом фиксированных частот на частотах механического резонанса. Испытуемые изделия требуют предварительного определения этих частот. Испытуемое изделие последовательно подвергают воздействию вибрации на частотах резонанса, выдерживая его в каждом режиме в течение некоторого времени. *Достоинством* этого метода является то, что испытания проводятся на частотах, наиболее опасных для испытуемого ЭС. *Недостатком* является сложность автоматизации процесса испытаний, поскольку в процессе испытаний резонансные частоты могут несколько изменяться.

Испытания на ряде заданных в рабочем диапазоне частот целесообразно проводить для снятия характеристик изделия по точкам диапазона частот эксплуатации. Теоретически интервал между двумя соседними частотами выбирается не больше ширины резонансной характеристики конструктивного элемента. Это делается для того, чтобы не пропустить возможное возникновение резонанса. В случае обнаружения резонансных частот или частот, на которых наблюдается ухудшение контролируемых па-

раметров изделия, рекомендуется дополнительная выдержка на этой частоте для уточнения и выявления причин несоответствия.

Структурная схема испытаний методом фиксированных частот



1 – задающий генератор; 2 – усилитель мощности; 3 – вибратор; 4 – испытуемое изделие; 5 – виброизмерительный первичный преобразователь (датчик),
6 – виброизмерительная аппаратура

Испытания методом качающейся частоты осуществляются непрерывным изменением частоты вибрации в сторону ее увеличения, а затем уменьшения. Основными параметрами, характеризующими метод качающейся частоты, являются:

- время одного цикла качания $T_{ц}$;
- скорость качания $v_{к}$;
- продолжительность испытаний $T_{п}$.

Важным показателем метода качающейся частоты является скорость качания частоты. Исходя из того, что диапазон высоких частот вибрации (1000...5000 Гц) значительно шире диапазона низких частот вибрации (20...1000 Гц), следует, что при качании частоты с постоянной скоростью в пределах рабочего диапазона область низких частот будет проходить за меньшее время, чем высокочастотная область. В результате обнаружение резонансов в низких частотах будет затруднено. Поэтому обычно изменение частоты в пределах диапазона рабочих частот осуществляется по экспоненциальному закону.

$$f_t = f_1 \cdot e^{kt}, \quad (3)$$

где f_t – частота вибрации в момент времени t , Гц; f_1 – нижняя частота рабочего диапазона, Гц; k – показатель степени, характеризующий скорость качания.

При выборе большой скорости качания оценка свойств испытуемого ЭС будет проводиться с большими погрешностями, т.к. амплитуда резонансных колебаний изделия достигнет мень-

ших значений, чем при малой скорости, а также возможны пропуски (необнаружения) резонансов. При выборе малой скорости качания длительное прохождение диапазона рабочих частот может вызвать повреждение испытуемого изделия на резонансных частотах и увеличение длительности испытаний. Скорость изменения частоты должна быть такой, чтобы время изменения частоты в резонансной полосе частот $t_{\Delta f}$ было не меньше времени нарастания амплитуды вибрации изделия при резонансе до установившегося значения $t_{нар}$ и времени окончательного установления подвижной части измерительного или регистрирующего прибора t_y . Т.е. скорость изменения частоты будет ограничена следующими условиями:

$$\begin{aligned} t_{\Delta f} &> t_{нар}, \\ t_{\Delta f} &> t_y. \end{aligned} \quad (4)$$

Время нарастания амплитуды вибрации при резонансе до установившегося значения может быть приближенно рассчитано по формуле:

$$t_{нар} = k_1 \cdot Q / f_0, \quad (5)$$

где f_0 – резонансная частота, Гц; Q – добротность изделия; k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение времени нарастания амплитуды до установившегося значения в результате отклонения изменений амплитуды от линейного закона.

Значение k_1 рекомендуется применять равным 2–3, а значения f_0 , Q определяют либо прямыми измерениями, либо используют данные их конструктивных аналогов.

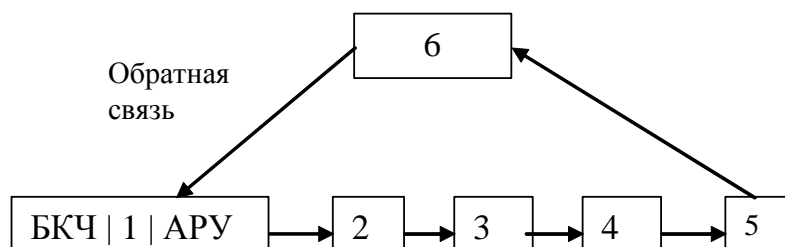
С учетом всего вышесказанного скорость изменения частоты считают по формуле:

$$v_k = 2000 \cdot \lg(2 \cdot Q + 1/2 \cdot Q) / t_{\Delta f}, \quad (6)$$

где $t_{\Delta f}$ – выбирают в соответствии с условиями (4). Если найденная по формуле скорость изменения частоты превышает 2 окта-

вы/с, то ее принимают все равно 2 октавы/с – это предельно максимальная скорость изменения частоты.

Структурная схема испытаний методом качающейся частоты



1 – задающий генератор, в состав которого входит блок качания частоты и автоматический регулятор уровня; 2 – усилитель мощности, 3 – вибратор, 4 – испытуемое изделие; 5 – виброизмерительный первичный преобразователь (датчик), 6 – виброизмерительная аппаратура

Испытания методом широкополосной случайной вибрации. В этом случае реализуется одновременное возбуждение всех резонансов испытуемого изделия, что позволяет выявить их совместное влияние. Ужесточение условий испытаний за счет одновременного возбуждения резонансных частот сокращает время проведения испытаний, по сравнению с методом качающейся частоты.

Степень жесткости испытаний методом широкополосной случайной вибрации определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазоном частот;
- спектральной плотностью ускорения;
- продолжительностью испытания.

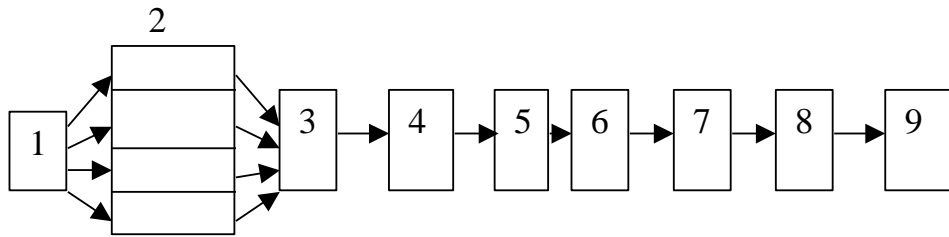
Степени жесткости приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Степень жесткости	Среднее квадратичное значение ускорения, Гц ⁻¹	Спектральная плотность ускорения, g ²
1	100	0,05
2	200	0,05
3	200	0,1
4	200	0,2

Примечание: Продолжительность воздействия вибрации 34 с; Диапазон частот 20–2000 Гц.

Структурная схема испытаний методом широкополосной случайной вибрации



1 – генератор шума; 2 – блок фильтров (40–120 узкополосных фильтров с фиксированными частотами пропускания); 3 – усилитель мощности; 4 – вибратор; 5 – испытуемое изделие; 6 – виброизмерительный преобразователь, 7 – виброизмерительная аппаратура; 8 – анализирующее устройство; 9 – регистрирующая аппаратура

К *достоинствам* этого метода можно отнести:

- близость к механическим воздействиям при реальной эксплуатации;
- возможность выявления всех эффектов механического воздействия различных элементов конструкции;
- наименьшую продолжительность проведения испытаний.

К *недостаткам* относится высокая стоимость и сложность испытуемого оборудования.

Испытания методом узкополосной случайной вибрации.

Этот метод еще называется методом случайной вибрации со сканированием полосы частот. Случайная вибрация в этом случае возбуждается в узкой полосе частот, центральная частота которой по экспоненциальному закону медленно сканирует по диапазону частот в процессе испытания.

В этом методе реализовано компромиссное решение методов испытаний широкополосным сигналом и синусоидальным сигналом с качающейся частотой.

Для обеспечения эквивалентности испытания методом воздействия случайной вибрации со сканированием полосы частот и испытанием на воздействие широкополосной случайной вибрации необходимо выполнение следующего условия:

$$\gamma = \sigma / (2 \pi \cdot f)^{1/2} = \text{const}, \quad (7)$$

где γ – градиент ускорений, $g \cdot c^{1/2}$; σ – среднеквадратичное ускорение вибрации в узкой полосе частот, измеренное в контрольной точке, g ; f – центральная частота полосы.

Степень жесткости испытаний в этом случае определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазона частот;
- ширины сканирующей полосы частот;
- градиента ускорений;
- длительности испытаний.

Значение градиента ускорений находят по формуле:

$$\gamma = 0.22 \cdot S(f)^{1/2}, \quad (8)$$

где $S(f)$ – спектральная плотность ускорения вибрации при испытании методом широкополосной случайной вибрации.

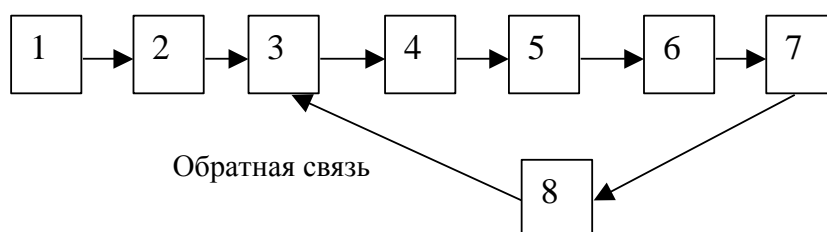
Длительность испытания

$$t_u = 2 t_{us} \ln(f_1/f_2), \quad (9)$$

где t_u – длительность испытания на случайную вибрацию со сканированием полосы частот; t_{us} – длительность испытаний на широкополосную случайную вибрацию; f_1 и f_2 – нижняя и верхняя границы диапазона частот испытаний.

Ширина сканирующей полосы частот определяется узкополосным фильтром и выбирается из следующих интервалов: 2...5, 7...15.

Структурная схема испытаний методом узкополосной случайной вибрации



1 – генератор шума; 2 – полосовой фильтр; 3 – усилитель с автоматическим регулированием; 4 – усилитель мощности; 5 – вибратор; 6 – испытуемое изделие; 7 – виброизмерительный преобразователь; 8 – виброизмерительная аппаратура

К недостаткам метода можно отнести то, что, по сравнению с методом широкополосной случайной вибрации, в этом методе исключается взаимодействие механических резонансов и увеличивается время испытаний.

5.2 Виды механических испытаний ЭС

5.2.1 Испытания на обнаружение резонансных частот

Этот вид испытаний проводят при разработке новых конструкций ЭС. Он позволяет определить резонансные частоты изделий целиком или их отдельных деталей и узлов в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений.

При совпадении резонансной частоты с частотой возмущающей силы наступает явление резонанса, которое сопровождается значительным увеличением амплитуды колебания и изменением фазы колебаний на 90^0 . Обычно ЭС в силу своей конструкции имеют несколько резонансных частот. Но для проведения испытаний наибольший интерес представляют низшие резонансные частоты, так как на них возникают наибольшие напряжения и происходят наибольшие деформации.

При определении резонансных частот ЭС в выключенном состоянии подвергается воздействию гармонической вибрации при пониженных ускорениях (1–5)g или перемещениях не более 1.5 мм в диапазоне частот от $0.2f_{ор} \dots 1.5f_{ор}$, где $f_{ор}$ – расчетная резонансная частота ЭС. Если $f_{ор}$ не известна, то ЭС может подвергаться вибрации в диапазоне частот от 40...20 000 Гц. Конкретный диапазон частот устанавливается в ПИ. Поиск резонансных частот производят путем плавного изменения частоты при поддержании постоянной амплитуды.

По результатам испытаний оцениваются механические свойства испытываемых изделий по величине коэффициента конструктивного запаса k_3 :

$$k_3 = f_{н.р} / f_{в.в}, \quad (10)$$

где $f_{н.р}$ – наименьшая резонансная частота испытуемого изделия;
 $f_{в.в}$ – верхняя частота рабочего диапазона, заданная в НТД.

Из формулы видно, чем выше $f_{н.р}$, тем выше вибропрочность при прочих равных условиях.

По результатам этих испытаний в зависимости от $f_{н.р}$ получают также информацию по выбору других видов испытаний.

1. Если $f_{н.р} > 1000$ Гц, то исключают испытания на ударопрочность.

2. Если $f_{н.р} > 2000$ Гц, то исключают испытания на удароустойчивость.

3. Если $f_{н.р} > 2 \cdot f_{в.в}$, то исключают испытания на виброустойчивость.

5.2.2 Испытания на виброустойчивость

Испытания на виброустойчивость проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах, указанных в ТУ, в условиях воздействия вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений. Испытания проводят под электрической нагрузкой, контролируя в процессе проведения испытаний параметры изделия. Для проверки виброустойчивости выбирают такие параметры, по которым можно судить о виброустойчивости изделия. Например, уровень виброшумов, искажение выходного сигнала, нестабильность контактного сопротивления и т.п.

В зависимости от степени жесткости испытания характеризуются сочетанием следующих параметров:

- диапазон частот;
- амплитуда перемещений;
- ускорение;
- частоты перехода (частота, при которой происходит изменение режима испытаний).

Всего существует 14 степеней жесткости проведения испытаний на виброустойчивость, они приведены в таблице 5.2.

Продолжительность испытаний в каждом конкретном случае определяется продолжительностью проверки работоспособности испытуемого ЭС.

Таблица 5.2 – Параметры вибрации при испытании ЭС на виброустойчивость

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещений, мм	Частота перехода, Гц	Ускорение, м/с ²
1	10–35	-	-	5
2	10–55	-	-	10
3	10–55	0.5	32	20
4	10–55	0.5	-	-
5	10–80	0.5	32	20
6	10–80	0.5	50	50
7	10–150	0.5	50	50
8	10–200	0.5	50	50
9	10–500	0.5	50	50
10	10–500	1	50	100
11	10–2000	1	50	100
12	10–2000	2	50	200
13	10–2000	4	50	400
14	10–5000	4	50	400

5.2.3 Испытания на вибропрочность

Испытания на вибропрочность проводят с целью проверки способности ЭС противостоять разрушающему воздействию вибрации и сохранять свои параметры после воздействия вибрации в пределах значений, указанных в ТУ на изделие.

Испытание ЭС на виброустойчивость и вибропрочность можно проводить любым из перечисленных ранее способов, основным условием, позволяющим выбрать наиболее рациональный метод, является знание резонансных частот ЭС.

Если резонансная частота превышает верхнюю частоту диапазона более чем в 1.5 раза, применяют метод испытаний на фиксированной частоте. Если резонансные частоты не установлены, применяется метод качающейся частоты. Если испытуемое изделие имеет не менее 4-х резонансов в заданном диапазоне частот, применяются методы случайной вибрации.

Если есть необходимость сократить время проведения испытаний при сохранении диапазона частот испытаний, применяется метод ускоренных испытаний, основанный на наличии сле-

дующей закономерности влияния нагрузок на долговечность изделия:

$$(j_y/j_0)^k = T_0/T_y, \quad (11)$$

где j_0 и j_y – амплитуда вибрационного ускорения при обычном и ускоренном испытании соответственно; T_0 , T_y – продолжительность обычного и ускоренного испытаний; k – показатель степени, зависящий от особенностей конструкции и материала изделия $k = 2 \dots 10$. Наиболее жесткому ускоренному испытанию соответствует $k=2$, поскольку при таком показателе степени продолжительность испытания будет максимальной. При увеличении амплитуды ускорения и сокращении продолжительности воздействия вибрации необходимо следить за тем, чтобы механизм отказов по мере увеличения ускорения оставался неизменным по сравнению с обычными условиями испытаний.

5.3 Испытательное оборудование, применяемое при испытаниях ЭС на воздействие вибрации

Для проведения испытаний на воздействие вибраций применяются вибрационные установки (вибростенды).

Классификация виброустановок производится по ряду признаков.

1. По принципу возбуждения возмущающей силы они делятся на:

- механические;
- электродинамические;
- электромагнитные;
- гидравлические;
- пьезоэлектрические.

2. По системам управления виброустановки делятся на:

- разомкнутые;
- замкнутые.

В разомкнутых установках поддержание заданных значений параметров вибрации на заданном уровне осуществляется вручную, а в замкнутых – автоматически за счет обратной связи.

3. По характеру воспроизводимой вибрации, т.е. по значению колеблющейся величины, изменяющейся во времени, различают виброустановки:

- гармонической вибрации;
- случайной вибрации;
- комбинированные, т.е. воспроизводящие оба вида вибрации.

4. По направлению приложения силы механических воздействий различают виброустановки для воспроизведения линейной вибрации:

- прямолинейной – вертикальной или горизонтальной (однокомпонентной);
- плоскостной – одновременно горизонтальной и вертикальной (двухкомпонентной);
- пространственной (трехкомпонентной).

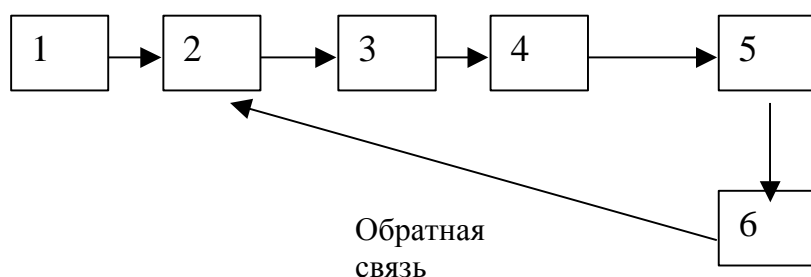
Существуют также установки для воспроизведения угловой вибрации.

5. По назначению виброустановки делятся на:

- испытательные;
- калибровочные, используемые для калибровки виброизмерительных преобразователей (ВИП).

Наибольшее распространение в настоящее время получили *электродинамические* вибрационные стенды, использующие электродинамический принцип создания возмущающей силы. Такие вибрационные установки обладают широким диапазоном рабочих частот вибрации, линейностью преобразований сигнала, простотой управления, устойчивостью и надежностью в работе, имеют элементы автоматики.

Структурная схема вибрационной электродинамической установки



Применение автомата поддержания амплитуды вибросмещения или виброускорения (с автоматическим плавным прохождением частотного диапазона) дает возможность автоматизировать процесс испытаний.

Типовая конструкция электродинамического вибратора показана на рис 5.1.

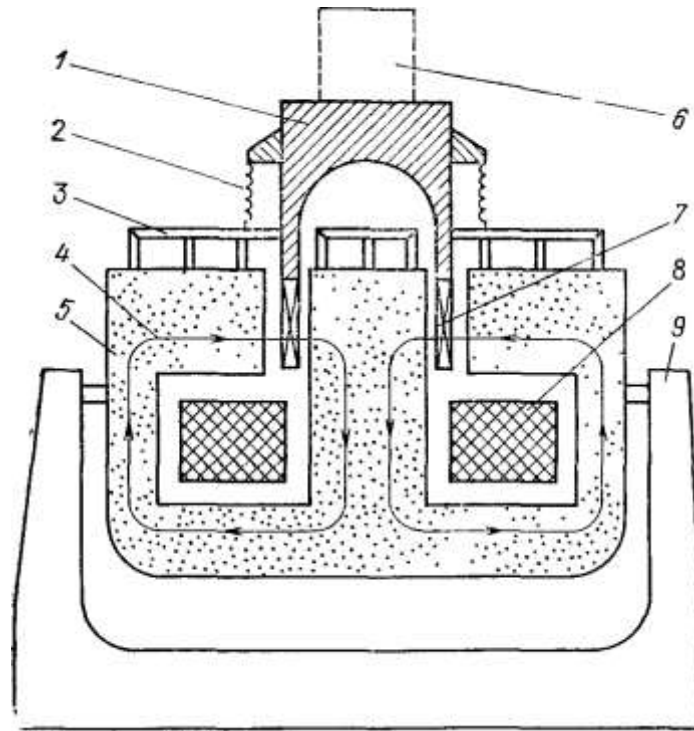


Рисунок 5.1

Катушка подмагничивания 8, по которой протекает постоянный ток, создает в магнитопроводе 5 постоянный магнитный поток, пересекающий воздушный зазор магнитопровода. В этот зазор помещена подвижная катушка 7, через которую пропускается переменный ток разной частоты. Подвижная катушка жестко соединяется с рабочим столом вибратора 1 и удерживается в нужном направлении с помощью упругих подвесок 2.

В результате взаимодействия постоянного магнитного потока с переменным магнитным полем возникает сила, перемещающая подвижную катушку и жестко соединенный с ней рабочий стол. Направление перемещения зависит от направления тока в подвижной катушке.

Амплитудное значение возбуждающей силы F , Н определяется по формуле:

$$F=9.01 \cdot B \cdot L \cdot I \cdot (2 \cdot 10^{-3})^{1/2}, \quad (12)$$

где B – магнитная индукция, Т; L – длина провода подвижной катушки, см; I – эффективное значение силы тока звуковой частоты в катушке, А.

Подвижная катушка с рабочим столом и гибкие подвески образуют подвижную систему вибратора. Для удобства эксплуатации вибратор установлен на основание 9, которое обеспечивает его крепление к фундаменту и дает возможность поворачиваться на угол 90^0 (возможность получать горизонтальную вибрацию).

Магнитный экран 3 обеспечивает защиту испытуемого изделия от действия магнитного поля вибратора.

Крепятся испытываемые изделия на столе вибростенда с помощью специальных приспособлений, которые являются промежуточным звеном между изделием и столом вибростенда. Конструкция приспособлений во многих случаях определяет точность воспроизведения значений воздействующих факторов вибрации, поэтому необходимо обращать внимание на правильный выбор конструкции приспособлений.

Необходимо проектировать приспособления с учетом массы, размеров, числа одновременно испытываемых изделий. Изготавливать приспособления рекомендуется из алюминиевых сплавов в виде сплошных кубов или пластин, прикрепляемых к столу вибратора в одной или четырех точках.

Метод и схема измерения параметров вибрации зависят от типа применяемого вибропреобразователя.

5.4 Средства измерений параметров вибрации. Вибропреобразователи

Источником сигнала измерительной информации о значениях вибрации является *виброизмерительный преобразователь* (ВИП). В современных ВИП в основном используются принципы электрических измерений неэлектрических величин, когда механические колебания преобразуются в электрические напряжения.

ВИП классифицируются по следующим признакам:

1. *По назначению*, в зависимости от измеряемого параметра вибрации, ВИП делятся на:

- ВИП, предназначенные для измерения ускорения (акселерометры);
- ВИП, предназначенные для измерения скорости (велосиметры);
- ВИП, предназначенные для измерения перемещения.

2. *По связи чувствительной части* ВИП с испытуемым изделием различают:

- контактные ВИП;
- бесконтактные ВИП.

Применение контактных или бесконтактных ВИП зависит от габаритных размеров и массы испытуемых ЭС. Если размеры и масса изделий соизмеримы или меньше размеров и массы ВИП, то необходимо применять бесконтактные ВИП.

3. *По принципу измерения* относительно системы отчета различают:

- ВИП с собственной системой отчета, жестко связанной с испытуемым изделием;
- ВИП с назначенной системой отчета, не связанной с испытуемым изделием.

4. *По принципу преобразования энергии* механических колебаний в колебания других видов энергии различают:

- активные ВИП;
- пассивные ВИП.

В активных ВИП выходной сигнал зависит от входной механической энергии и постороннего источника энергии. К активным ВИП относятся фотоэлектрические, емкостные и др.

В пассивных ВИП сигнал получается только за счет входной механической энергии. К пассивным ВИП относятся пьезоэлектрические, электретные и др.

5. *По направлению действия* механических колебаний различают:

- ВИП для измерения линейной вибрации (одно-, двух- и трехкомпонентные);
- ВИП для измерения угловой вибрации.

6. *По точности измерения* различают ВИП:

- высокой точности;

- контрольно-поверочные;
- технические.

7. По характеру применения ВИП могут быть:

- лабораторные;
- для промышленных предприятий;
- для специальных условий применения.

Также они делятся на переносные и стационарные.

8. По физическому явлению, положенному в основу принципа действия, ВИП можно объединить в следующие основные группы:

- механические;
- акустические (ультразвуковые);
- электрические;
- электромагнитные (радиотехнические)
- световые (оптические)
- радиационные и т.д.

Теперь рассмотрим характерные особенности некоторых типов ВИП.

Индуктивные и трансформаторные ВИП малочувствительны к изменению внешних условий, нуждаются к подводу электрической энергии извне, имеют малый участок линейности АЧХ, ограничены в частотном диапазоне сверху. Применяются для постоянной составляющей ускорения.

Электромагнитные и электродинамические ВИП, обладая значительной чувствительностью и простотой конструкции, ограничены в частотном диапазоне снизу, имеют большие массу и габаритные размеры. Для получения вибросмещения сигнал нужно интегрировать, а для получения ускорения – дифференцировать.

Емкостные ВИП обладают низким порогом чувствительности, восприимчивы к внешним условиям, требуют применения сложной измерительной аппаратуры.

Омические ВИП с изменяющимся сопротивлением просты по конструкции, но их относительная чувствительность к неизмеряемым параметрам вибрации велика. Они применяются на низких частотах до 10 Гц.

Пьезоэлектрические ВИП наиболее применяемые на практике, они имеют малые габаритные размеры и массу, работают в диапазоне частот от долей герц до десятков килогерц, диапазон ускорений $0.01 \dots 4 \cdot 10^5$ м/с².

ЛЕКЦИЯ 6

6.1 Испытания на ударную прочность и устойчивость

Основная задача испытаний на ударные нагрузки – проверка выполнять свои функции во время ударного воздействия и после него. Различают два вида испытаний:

- испытания на ударную прочность;
- испытания на ударную устойчивость.

Испытания на ударную прочность проводят с целью проверки способности ЭС противостоять разрушающему действию механических ударов, сохранять свои параметры в пределах, указанных в НТД на ЭС.

Испытания на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции в условиях действия механических ударов.

6.2 Методы проведения испытаний на ударную прочность и устойчивость

При проведении испытаний на ударную прочность испытуемое ЭС подвергают воздействию многократных и/или однократных ударов.

Многократные удары

Поскольку любое изделие можно представить в виде совокупности отдельных конструктивных элементов, в некоторых из них в результате воздействия удара возникает резонанс. Реакция такого элемента на воздействие ударных механических нагрузок зависит от собственной низшей резонансной частоты. Зависимость длительности действия ударного импульса от резонансной частоты приведена в таблице 6.1.

Значения резонансных частот могут быть определены в процессе испытаний на воздействие вибрации или взяты из справочных данных.

Таблица 6.1 – Длительность действия ударного ускорения

Значение низшей ударной частоты ЭС, Гц.	Длительность действия ударного ускорения, мс
60 и ниже	18±5
60–100	11±4
100–200	6±2
200–500	3±1
500–1000	2±0,5
1000–2000	1±0,3
2000–5000	0,5±0,2
5000–10000	0,2±0,1
10000–20000	0,1±0,05
Свыше 20000	0,05±0,02

Частота повторения ударных импульсов обычно берется от 1 до 3 в секунду.

Форма импульса должна быть близка к полусинусоиде.

Выбор степени жесткости зависит от:

- назначения ЭС;
- места установки ЭС;
- условий эксплуатации ЭС.

Возможные степени жесткости приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Жесткость при многократных ударах

Степень жесткости	Пиковое ускорение м/с ²	Длительность импульса, мс	Изменение скорости, м/с
1	100	16	1
2	150	6	0,6
3	250	6	0,9
4	400	6	1,5
5	1000	2	1,2

Рекомендуется осуществлять 1000±10 и 4000±10 ударов.

Так как в во время транспортировки удары могут действовать с разных сторон, необходимо обеспечивать воздействие ударов поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений по отношению к изделию. При этом общее количе-

ство ударов должно распределяться поровну между направлениями, при которых проводят испытания. Изделия, имеющие ось симметрии, испытывают в двух взаимно перпендикулярных направлениях (по оси симметрии и перпендикулярно ей) при сохранении общего числа ударов. Изделия с известным наиболее опасным направлением воздействия испытывают только в том направлении при сохранении общего числа ударов.

Одиночные удары

Испытания осуществляют путем воздействия механических одиночных ударов одной из рекомендуемых форм. Рекомендуют три формы одиночных ударов:

- пилообразный;
- полусинусоидальный;
- трапециидальный.

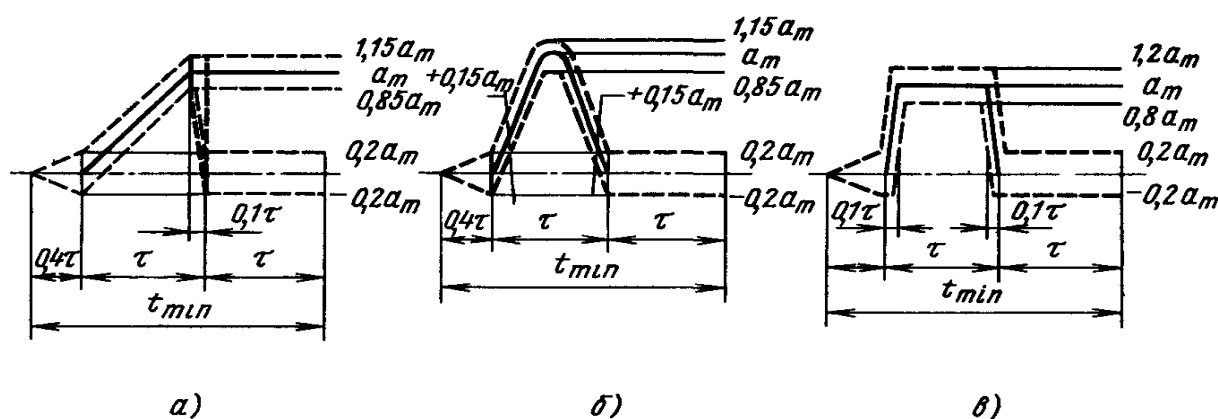


Рисунок 6.1 – а) пилообразный; б) полусинусоидальный;
в) трапециидальный

Выбор формы импульса осуществляется с учетом:

- конструкции ЭС;
- целей испытаний;
- места установки ЭС;
- условий транспортировки;
- условий эксплуатации.

Степень жесткости проведения испытаний зависит от:

- максимального ускорения;
- длительности импульса.

Длительность действия ударного ускорения выбирают в зависимости от формы импульса.

При трапециидальном импульсе расчет длительности производят по формуле:

$$\tau = n \cdot 10^2 / f_n, \quad (13)$$

где n – выбирают в диапазоне 3...100; f_n – низшая резонансная частота изделия.

При пилообразном импульсе длительность выбирают из условия:

$$\tau > 300 / f_n. \quad (14)$$

Значения длительности действия ударного импульса полусинусоидальной формы определяют по той же таблице, что и для многократных ударов.

Частота следования ударов должна обеспечивать возможность контроля проверяемых параметров.

При испытаниях, когда у изделия невозможно выявить плоскости и оси симметрии, его подвергают воздействию трех последовательных ударов в каждом из двух противоположных направлениях (всего 18 ударов). В остальных случаях выбор конкретных направлений выполняется следующим образом:

- при наличии оси симметрии испытания проводят вдоль оси симметрии, в двух противоположных направлениях и в любом направлении, перпендикулярном оси симметрии;
- при наличии одной или нескольких плоскостей симметрии направление воздействия выбирают так, чтобы перпендикулярно к каждой плоскости симметрии испытание проводилось в одном направлении.

Изделия, у которых известно наиболее опасное направление воздействия, испытывают только в этом направлении.

При испытаниях на ударную устойчивость выбирают такие параметры, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости изделия в целом (искажение выходного сигнала, стабильность характеристик и т.п.), а ударную прочность оцени-

вают по целостности конструкции (образование трещин, отсутствие контакта и т.п.).

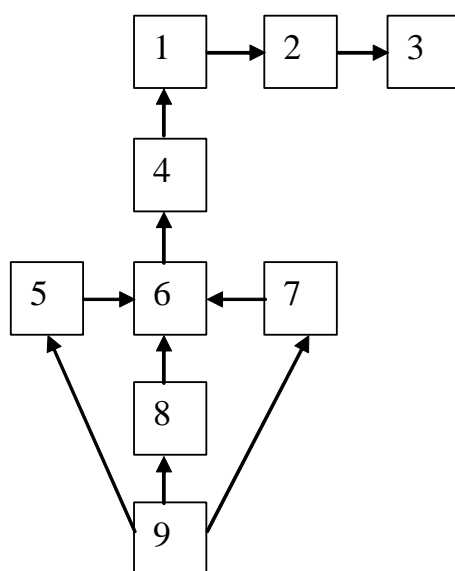
Изделия считают выдержавшими испытания, если в процессе и (или) после испытаний они удовлетворяют требованиям НТД и ТУ на изделия и ПИ данного вида испытаний.

6.3 Испытательное оборудование для испытаний на ударную прочность и устойчивость

Создание ударных нагрузок с заданными параметрами для проведения испытаний достигается с помощью ударных установок, в которых воздействие возникает за счет соударения тел. При этом наиболее часто используются соударения осуществляемые через:

- упругий элемент сопротивления;
- нелинейный элемент сопротивления безгистерезисного типа;
- элемент сопротивления, работающий в зоне пластической деформации.

Структурная схема ударной установки



1 – измерительный преобразователь; 2 – средство измерения; 3 – средство регистрации; 4 – испытуемое изделие; 5 – средство разгона (ускоритель); 6 – подвижной стол или платформа или контейнер; 7 – тормозное устройство (соударяющиеся элементы); 8 – контрольный преобразователь; 9 – система управления и регулирования режима испытаний

Классификация ударных установок:

1. По структурно-конструктивному решению установки различают по средствам разгона и торможения, применяемым для получения заданного ударного нагружения.

По средствам разгона различают установки:

- с принудительным разгоном;
- установки свободного падения.

По средствам торможения различают установки с:

- необратимо деформируемыми тормозными устройствами одноразового применения;
- упругодеформируемыми тормозными устройствами многократного использования.

Одноразовые тормозные устройства изготавливают из стали, латуни, меди, свинца, резины – они обеспечивают получения ударных ускорений от 100 м/с^2 до $1\,000\,000 \text{ м/с}^2$. Пластически деформируемый элемент, используемый в совокупности с внедряющимся в него жестким наконечником, позволяет получить закон изменения ускорения с большой длительностью фронта ударного импульса, достигающего до десятков микросекунд. Недостаток одноразовых тормозных устройств заключается в невозможности воспроизведения импульсов с одинаковыми характеристиками.

В качестве многократных упругодеформируемых элементов используют прокладки из резины или пластиков и пневматические, гидравлические и пневмогидравлические устройства. Их недостатком является конструктивная сложность и определенная трудность управления ударным процессом.

Для предотвращения повторных ударов, возникающих в установках, используют специальные пневматические и электромагнитные тормозные устройства, а также механические пружинные захваты.

2. По принципу действия ускорителя, создающего принудительный разгон, различают установки:

- механические (эластичные, пружинные, ротационные и.п.);
- пневматические;
- электродинамические;
- электрогидравлические и т.д.

3. По системе управления различают установки:

- с неуправляемым ударным воздействием;
- с управляемым ударным воздействием (ручным, автоматическим, дистанционным).

К установкам с неуправляемым ударным воздействием относятся механические (эластичные, маятниковые) и пневматические установки.

К установкам с управляемым ударным воздействием относятся электродинамические и электрогидравлические установки.

4. По характеру воспроизводимых ударных воздействий различают установки, воспроизводящие:

- многократные и одиночные удары;
- транспортную тряску;
- комбинированные нагрузки;
- имитацию падения и столкновения.

6.4 Средства измерения параметров ударного воздействия

Измерение параметров ударного воздействия чаще всего осуществляется по следующей схеме.

Структурная схема измерения ударного воздействия



- 1 – измерительный преобразователь; 2 – согласующий усилитель;
3 – фильтр; 4 – регистрирующий прибор

В качестве измерительного преобразователя чаще всего применяют пьезоэлектрические, емкостные, тензометрические датчики. Из них наибольшее распространение получил пьезоэлектрический датчик. Согласующий усилитель служит для согласования большого выходного сопротивления пьезопреобразователя с малым входным сопротивлением регистрирующего прибора. Для надежной регистрации измеряемого ударного импульса, снижения уровня шумов согласующего усилителя в схему включен фильтр с необходимой полосой пропускания.

Регистрацию параметров удара осуществляют при помощи осциллографа или аналого-цифровой измерительной техники.

ЛЕКЦИЯ 7

7.1 Испытания на воздействия линейных нагрузок

Испытания проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции при линейных нагрузках. Испытания обычно проводят без электрической нагрузки. Это объясняется большими вносимыми погрешностями на контролируемый входной сигнал при передаче его через токосъемник центрифуги. Но если проводят испытания на устойчивость к линейным ускорениям, то проводят испытания ЭС под нагрузкой.

Для проведения испытаний используют центрифуги различных типов. Тип центрифуги в основном зависит от габаритов, массы испытуемого ЭС и от значения линейного ускорения.

Линейное ускорение определяется степенью жесткости проведения испытания.

Таблица 7.1

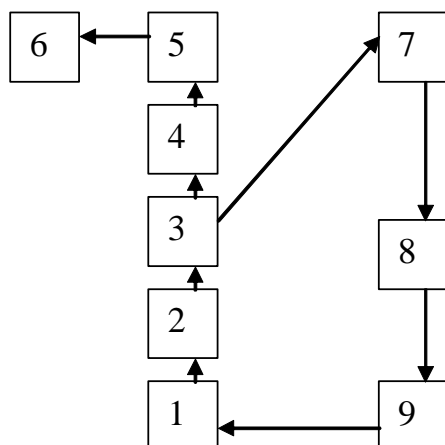
Степень жесткости	Линейное ускорение, м/с^2	Степень жесткости	Линейное ускорение, м/с^2
1	100	8	20000
2	200	9	50000
3	500	10	100000
4	1000	11	200000
5	2000	12	300000
6	5000	13	500000
7	10000	14	1000000

При испытании до 5000 м/с^2 продолжительность испытания 3 мин в каждом направлении, а при ускорении свыше 5000 м/с^2 – 1 мин.

7.2 Оборудование для проведения испытаний на воздействие линейных ускорений

Приведенная структурная схема отражает общий принцип построения установок линейного ускорения.

Структурная схема установки линейного ускорения



1 – привод; 2 – редуктор; 3 – средство измерений числа оборотов; 4 – стол центрифуги; 5 – токосъемное устройство; 6 – средство измерений параметров испытуемых ЭС; 7 – измерительный прибор; 8 – система автоматического управления; 9 – источник питания

Основным узлом центрифуги является привод 1, который совместно с редуктором 2 определяет линейное ускорение. Полученное вращательное движение передается столу центрифуги 4, обеспечивающему крепление испытуемых изделий. Если испытания проводятся для определения устойчивости, тогда с помощью средства измерений 6 осуществляют контроль параметров испытуемого ЭС, для снятия сигнала используется токосъемное устройство 5. Линейные ускорения контролируются с помощью средства измерения оборотов 3 и измерительного прибора 7. Сигналы от измерительного прибора поступают на систему автоматического регулирования 8, которая поддерживает постоянство режимов испытаний путем воздействия на источник питания привода 9.

Классификация центрифуг

1. По назначению:

- для испытаний на линейные нагрузки;
- для испытаний на комбинированное воздействие факторов внешней среды.

2. По типу привода:

- с электрическим приводом;

- с гидравлическим приводом.
- 3. По развиваемому линейному ускорению:
 - «А» – до 200 м/с²;
 - «Б» – до 500;
 - «В» – до 1000;
 - «Г» – до 2000;
 - «Д» – свыше 2000.
- 4. По конструкции:
 - открытого типа;
 - камерного типа;
 - с неповоротным столом;
 - с поворотным столом.
- 5. По грузоподъемности:
 - малые (до 10 кг);
 - средние (до 50 кг);
 - тяжелые (до 100 кг);
 - сверхтяжелые (свыше 100 кг).

7.3 Средства измерений частоты вращения центрифуг

Главным параметром центрифуги и, соответственно, испытания на линейные ускорения является частота вращения центрифуги.

Приборы, применяемые для измерения частоты вращения, называются тахометрическими. Они могут быть контактными и безконтактными.

К контактными относятся:

- тахогенераторы постоянного тока;
- тахогенераторы переменного тока;
- магнитоиндукционные тахометры.

К безконтактными относятся строботахометры.

7.4 Испытания на воздействия акустического шума

Акустический шум представляет собой беспорядочные механические колебания амплитуды и фазы, которые изменяются во

времени. Эти колебания распространяются в газообразной, жидкой и твердой средах.

Испытания проводят с целью определения способностей изделий выполнять свои функции, сохраняя свои параметры в пределах норм, указанных в ТУ и стандартах на данное ЭС, в условиях воздействия повышенного акустического шума.

Для испытаний изделий на воздействие акустического шума применяют методы:

- воздействие на изделие *случайного акустического шума*;
- воздействие *тона меняющейся частоты*.

Режим испытаний указанных методов устанавливается заданием величины звукового давления для соответствующей степени жесткости.

Таблица 7.2

Степень жесткости	Уровень звукового давления, Дб	
	Акустического шума	Тона меняющейся частоты
1	130	120
2	140	130
3	150	140
4	160	150
5	170	160

Испытания методом случайного акустического шума проводят путем воздействия акустического шума в диапазоне частот 125–10 000 Гц с одновременным воздействием на изделие заданного равномерного звукового давления и определенного спектра частот. Продолжительность воздействия звукового давления должна быть 5 минут, если большее время не требуется для контроля и (или) измерения параметров изделий.

Испытания методом тона меняющейся частоты проводят путем воздействия тоном меняющейся частоты в том же диапазоне частот при плавном изменении по всему диапазону от низшей к высшей и обратно (один цикл). При этом в диапазоне частот 200–1000 Гц уровень звукового давления должен соответствовать указанному в таблице. На частотах ниже 200 и выше 1000 Гц должно быть снижение, равное 6 дб/окт относительно

уровня на частоте 1000 Гц. Испытания проводят в течение 30 мин, если большее время не требуется для контроля параметров изделий.

Испытания проводят под электрической нагрузкой. При этом измеряют параметры, по изменению которых можно судить об устойчивости изделий к воздействию акустических шумов. Регистрация проверяемых параметров и их последующее сравнение с первоначальными значениями позволяет оценить результат испытаний. Кроме этого, проводится визуальный осмотр ЭС на выявление механических повреждений.

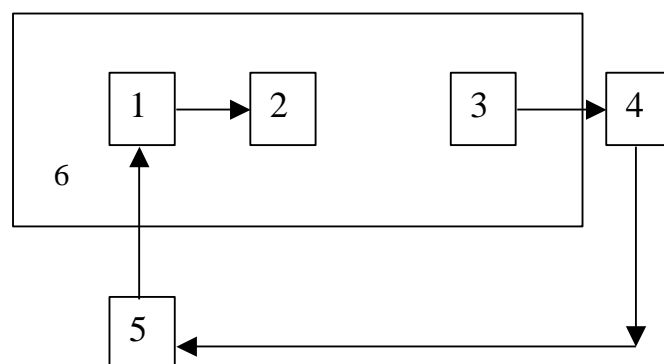
7.5 Испытательное оборудование

Испытание изделий на воздействие акустического шума проводят:

- на открытом стенде с работающим двигателем;
- в закрытых блоках с натуральным источником шума;
- в акустических камерах.

Рассмотрим структурную схему лабораторной установки для испытаний на воздействие акустического шума.

Структурная схема лабораторной установки для испытаний на воздействие акустического шума



- 1 – источник акустического шума; 2 – рупор; 3 – измерительный микрофон;
 4 – средство измерения значений параметров испытательных режимов;
 5 – система формирования и управления спектром акустического шума;
 6 – камера

Источником акустического шума является акустический генератор, принцип действия которого основан на преобразовании

энергии сжатого воздуха в акустическую энергию. Они бывают двух групп:

- с дискретным спектром частот;
- с непрерывным (широкополосным) спектром частот.

Камеры установок для испытаний на воздействие акустического шума бывают двух типов:

- камеры бегущей волны;
- реверберационные камеры.

В первых – воспроизводится свободное поле шума (без эха). Во вторых – воспроизводится диффузное поле шума, где средняя плотность энергии звуковых колебаний одинакова по всему объему.

7.6 Средства измерения акустического шума

Основным средством измерения параметров акустического шума являются измерительные микрофоны.

Классификация измерительных микрофонов. Может проводиться по следующим признакам:

1. По физическому явлению, положенному в основу их принципа действия:

- электрические (конденсаторные, электретные и пьезоэлектрические);
- электромагнитные (электродинамические).

2. По принципу преобразования энергии акустических колебаний в электрические:

- активные, требующие дополнительной энергии из дополнительного источника энергии (конденсаторные);
- пассивные, не требующие дополнительной энергии.

3. По направленности:

- ненаправленные;
- двухсторонне направленные;
- односторонне направленные;
- остронаправленные.

Выбрав тип микрофона, необходимо решить вопрос о схеме измерений. Простейшая схема измерений включает в себя микрофон, предусилитель и индикаторное устройство. Включение в

схему предусилителя обеспечивает согласование импедансов микрофона и индикаторного устройства.

ЛЕКЦИЯ 8

8.1 Общая методология климатических испытаний

Климатические испытания проводят для проверки работоспособности и (или) сохранения внешнего вида изделий в пределах, установленных в НТД, в условиях и (или) после воздействия климатических факторов.

Требуемая стойкость ЭА к воздействиям климатических факторов закладывается на этапе проектирования и обеспечивается в производстве.

Наиболее достоверную оценку работоспособности ЭС в условиях воздействия климатических факторов дает опыт эксплуатации или испытания, имитирующие эксплуатационные воздействия. Но т.к. электронные средства эксплуатируются в различных условиях, то их имитирование практически невозможно. Поэтому ограничиваются определенным комплексом стандартных климатических испытаний. Простые и универсальные, они основаны на эмпирических принципах и, не имитируя реальных условий эксплуатации, позволяют получить нужную информацию в кратчайшие сроки. Это достигается за счет увеличения уровня нагрузок и их длительности.

Первым и неизменным условием проведения испытаний является их полное и точное описание, исключающее всякую неопределенность толкования. Поэтому в НТД испытание принято представлять последовательностью следующих операций:

- предварительная выдержка (стабилизация свойств изделия), первоначальные измерения параметров и внешний осмотр изделий;
- установка изделий в камеры, выдержка их в условиях испытательного режима и извлечение из камер, восстановление (конечная стабилизация свойств);
- внешний осмотр изделий и заключительные измерения их параметров.

Значение воздействующих климатических факторов выбирается в зависимости от типа испытаний и от степени жесткости. На каждое значение существует допустимое отклонение, значения которых приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Допустимые отклонения воздействующих климатических факторов

Воздействующий фактор	Допустимое отклонение
Температура, °С	
От –200 до –85	±5 °С
От –85 до 100	±3 °С
От 100 до 200	±5 °С
Свыше 200	±10 °С
Скорость изменения температуры внешней среды, °С/мин:	
От 1 до 5	±20%
Свыше 5 до 10	±50%
Относительная влажность	±3%
Пониженное давление, Па:	
Выше $1.4 \cdot 10^2$	±5%
От $1.4 \cdot 10^2$ до 1.4	±60%
Ниже 1.4	±30%
Повышенное избыточное давление, Па	±20%
Солнечное излучение:	
Интегральная плотность, Вт/м ²	±10%
Плотность потока ультрафиолетовой части спектра, Вт/м ²	±25%
Интенсивность дождя, кг·см ²	±40%
Массовая концентрация пыли, г/л	±25%
Скорость ветра, м/с	±10%
Массовая концентрация коррозионно-активных агентов, г/л	±10%

Режимы и условия испытаний ЭС устанавливаются в зависимости от степени жесткости, которая, в свою очередь, определяется дальнейшей эксплуатацией ЭС в составе систем.

При стремлении к наибольшей информативности и эффективности испытаний при освоении и производстве изделий рекомендуется проводить климатические испытания последовательно, когда последующее испытание усиливает влияние предыдущего. Рекомендуется так называемая *нормализованная последовательность* климатических испытаний, включающая последовательно: испытания при повышенной температуре, кратковременное испытание на влагуустойчивость в циклическом режиме (первый цикл), испытания на воздействие пониженной температуры, пониженного атмосферного давления, влагуустойчивость в циклическом режиме (остальные циклы). При этом между любыми испытаниями допускается перерыв не более трех суток, за исключением интервала между испытаниями на влагуустойчивость и на воздействие пониженной температуры, который не должен превышать 2 часа. Измерения параметров изделий обычно проводятся в начале и конце последовательности.

8.2 Температурные испытания

Температурные испытания делятся на испытания:

- воздействия повышенной температуры;
- воздействие пониженных температур;
- циклическое воздействие смены температур.

8.2.1 Испытания на воздействие повышенной температуры

Испытания на воздействие повышенной температуры проводят с целью определения способности ЭС сохранять свои параметры и внешний вид в пределах норм Т_у в процессе и после воздействия верхнего значения температуры.

Различают два метода испытаний ЭС на воздействие повышенной температуры:

- испытание под термической нагрузкой;

- испытание под совмещенной термической и электрической нагрузкой.

Первому методу подвергаются нетеплорассеивающие изделия, температура которых в процессе эксплуатации зависит только от температуры окружающей среды, второму – теплорассеивающие ЭС, которые в рабочем состоянии нагреваются за счет выделяемой мощности под действием электрической нагрузки.

При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают под нормальной или максимальной допустимой для этих ЭС электрической нагрузкой, при значении температуры внешней среды в зависимости от степени жесткости испытаний.

Таблица 8.2 – Степени жесткости испытаний на повышенные температуры

Степень жесткости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура, °С	40	50	70	85	100	125	155	200	250	315

Время испытаний на повышенные температуры определяется временем, необходимым для достижения испытываемым изделием теплового равновесия, время выдержки при температуре испытаний выбирается из ряда 2, 16, 72, 96 ч.

Различают три типа воздействия повышенной температуры:

- непрерывное тепловое воздействие;
- периодическое тепловое воздействие;
- аperiodическое тепловое воздействие.

Непрерывному тепловому воздействию подвергаются изделия, эксплуатирующиеся или хранящиеся в стационарных условиях.

Периодическому тепловому воздействию подвергаются транспортируемые изделия или изделия, эксплуатируемые на открытом воздухе. Такой вид испытаний связан с быстрым изменением условий эксплуатации (взлет и посадка самолета, полевые условия и.д.) Продолжительность нагрева в таких испытаниях зависит от назначения ЭС и его схемно-конструктивного решения и колеблется в диапазоне от 10 мин до 3 часов.

Апериодическому тепловому воздействию подвергаются изделия, устанавливаемые в ракетах. Резкое изменение температуры может приводить к внезапному возникновению отказов.

Возможны два способа проведения испытаний теплорассеивающих изделий:

- при первом – достижение температуры испытаний контролируется по температуре воздуха в камере;
- при втором – температура контролируется по участку (узлу) ЭС, который имеет наибольшую температуру или является наиболее критичным для работоспособности изделия.

Испытания первым способом возможны, когда объем камеры достаточно велик. Чтобы имитировать условия свободного обмена воздуха, в камере отсутствует принудительная циркуляция воздуха и ее охлаждающим действием можно пренебречь. Проведение испытаний по первому способу возможно также, когда перегрев участка (узла) изделия не превышает 25 °С при нормальных климатических условиях.

В остальных случаях испытания проводят вторым способом.

Измерение параметров испытываемых средств производят после достижения теплового равновесия без извлечения изделий из камеры. Если это невозможно, то допускается изъятие изделия из камеры для измерения, но время измерения не должно превышать 3 минут.

8.3 Испытания на воздействие пониженных температур

Испытания на воздействие пониженных температур проводят с целью проверки параметров и внешнего вида ЭС в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия низкой температуры окружающей среды.

Изделия помещают в камеру холода, после чего устанавливают нижнее значение температуры в зависимости от степени жесткости.

Если ЭС испытывают на хранение, то выдержка в камере холода принимается 16 или 72 часа.

Таблица 8.3 – Степени жесткости испытаний на холодоустойчивость

Степени жесткости	1	2	3	4
Температура, °С	-10	-25	-45	-60

При испытании изделия для оценки его работоспособности в процессе испытания, изделие подвергается воздействию низкой температуры до наступления температурного равновесия, после чего аппаратуру включают и проверяют значения параметров, предусмотренных в НТД. Затем аппаратуру отключают и подвергают воздействию пониженной температуры 2 часа. По завершении указанной выдержки находящаяся в камере аппаратура включается вновь, и после достижения установившегося режима проводятся измерение ее параметров.

8.3.1 Испытания на циклическое воздействие смены температур

(Испытания на воздействие изменения температуры)

Испытания на воздействие изменения температуры окружающей среды проводят с целью определения способности ЭС сохранять свой внешний вид и значения параметров в пределах, установленных в ТУ.

Различают три разновидности данного вида испытаний:

- постепенное изменение температуры или циклическое изменение температуры;
- тепловой удар;
- резкое изменение температуры.

Испытание на постепенное изменение температуры проводят в термокамерах тепла и холода. Испытания обычно проводят без электрической нагрузки. При испытаниях тепловыделяющих ЭС не под электрической нагрузкой, в камере устанавливают положительную температуру, равную максимальному значению температуры наиболее температурно-напряженного участка ЭС. Особенностью испытаний на постепенное изменение температуры является то, что ЭС подвергается воздействию непрерывно следующих друг за другом циклов (термоциклы) (см. рис. 8.1).

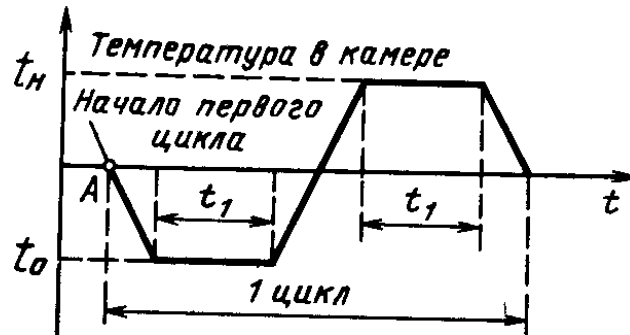


Рисунок 8.1

Скорость охлаждения или нагрева камеры выбирается из ряда: 1; 3; 5 °С·мин.

Длительность выдержки определяется временем наступления температурного равновесия. Количество циклов обычно равно трем.

Испытаниям на тепловой удар подвергают изделия, которые в условиях эксплуатации испытывают быстрые изменения температуры. Испытания на тепловой удар проводят с целью определения электрических характеристик изделий и их механической прочности при экстремальных температурных воздействиях. Особенностью испытаний на тепловой удар является быстрое изменение температуры окружающей среды, осуществляемое либо переносом ЭС из камеры тепла в камеру холода и обратно, либо применением специальных камер (см. рис. 8.2).

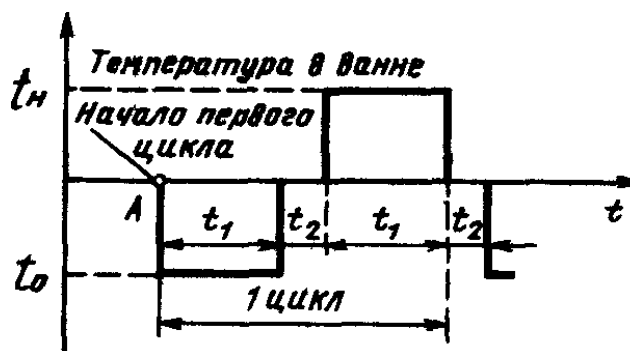


Рисунок 8.2

Как правило, испытания проводят без электрической нагрузки. Длительность выдержки определяется временем

наступления температурного равновесия. Количество циклов обычно равно 3...5.

Испытание на резкое изменение температур. Некоторые изделия требуют в качестве термоносителя жидкости, позволяющей оказать более сильное воздействие на изделие, чем при использовании воздуха для передачи температуры. При испытании используют две ванны с жидкостями, имеющими пониженную и повышенную температуры, соответствующие испытательным режимам (см. рис. 8.1).

Как правило, испытания проводят без электрической нагрузки. Степень жесткости определяется длительностью выдержки и продолжительностью переносов. Различают две степени жесткости:

- первая $t_1 > 5$ мин.; $t_2 < 10$ мин;
- вторая $t_1 > 15$ сек.; $t_2 < 3$ сек.

Количество циклов обычно равно 10.

Средства измерения температуры воздуха в камерах

Температуру измеряют с помощью термоизмерительных преобразователей (датчиков), которые получили название термометры. Термометры предназначены для выработки сигнала в форме, удобной для восприятия наблюдателем, автоматической обработки, передачи и использования в автоматических системах управления.

Классификация термопреобразователей:

1. *По физическому явлению, положенному в основу принципа действия, различают термометры:*

- расширения; (ртутные);
- сопротивления (платина, медь);
- термоэлектрические термометры (медь-константант);
- пирометры и т.д. (яркостные, цветовые, радиационные).

2. *По связи с объектом измерения термопреобразователи могут быть:*

- контактными;
- бесконтактными.

3. *По тепловой инерционности термопреобразователи бывают:*

- большой инерционности 3–4 мин;

- средней инерционности около 1 мин;
- малой инерционности менее 1 минуты.

Под тепловой инерционностью понимают время выравнивания температуры окружающей среды и температуры внесенного в нее термометра, которое зависит от конструкции термометра и физического явления положенного в его основу.

4. *По способу применения* различают термопреобразователи:

- погружаемые;
- поверхностные;
- комнатные

5. *По условиям использования* термопреобразователи могут быть:

- стационарными;
- переносными.

6. *По конструктивным признакам* термопреобразователи могут различаться:

- по степени защищенности (обыкновенные, виброустойчивые, ударопрочные, с взрывобезопасной головкой);
- по герметичности (обыкновенные и герметичные);
- по условиям эксплуатации (в нормальных, тропических или иных условиях).

ЛЕКЦИЯ 9

9.1 Испытания на влагоустойчивость

Различают два вида испытаний на влагоустойчивость:

- длительное,
- кратковременное.

Длительное проводится с целью определения способности изделия сохранять свои параметры в условиях и после длительного воздействия влажности. *Кратковременное* проводится с целью оперативного выявления грубых технологических дефектов и дефектов, которые могли возникнуть в предшествующих испытаниях.

Оба эти вида испытаний могут проводиться в следующих режимах:

- циклический (с конденсацией влаги);
- непрерывный (без конденсации влаги).

Вид испытания а также степень жесткости зависят от условий эксплуатации.

Таблица 9.1 – Степень жесткости при испытании на влагоустойчивость

Степень жесткости	Относительная влажность		Продолжительность периода, мес.
	Верхние значения	Среднемесячные значения в наиболее влажный и теплый период	
1	80% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	65% при 20°	12
2,3	98% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	80% при 20°	2,6
4	100% при 25° и более низких температурах с конденсацией влаги	80% при 20°	6
5	100% при 25° и более низких температурах с конденсацией влаги	90% при 20°	12

Окончание табл. 9.1

Степень жесткости	Относительная влажность		Продолжительность периода, мес.
	Верхние значения	Среднемесячные значения в наиболее влажный и теплый период	
6	98% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 20°	12
7,8	98% при 35° и низких температурах без конденсации влаги	80% при 27°	3,12
9	100% при 35° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 27°	12
10	98% при 35° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 27°	12
11	98% при 35° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 27°	4
12	100% при 25° и более низких температурах с конденсацией влаги	90% при 20°	6
13	98% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 20°	6

Циклический режим испытаний характеризуется воздействием повышенной влажности при циклическом изменении температуры воздуха в камере. В результате создаются условия для конденсации влаги на наружных поверхностях изделий и последующего ее испарения, что способствует интенсивному развитию процессов коррозии. Также сконденсированная влага может проникнуть внутрь изделия через различные микроканалы в сварных и паяных швах.

Циклические испытания на влагоустойчивость делятся на три подвида:

- длительные;
- ускоренные;

- кратковременные.

В случае длительного и ускоренного испытания на влагоустойчивость при циклическом режиме общая продолжительность испытания зависит от степени жесткости.

Таблица 9.2 – Продолжительности испытаний, сут. На влагоустойчивость

Температура воздуха, °С	Степень жесткости				
	Длительное испытание			Ускоренное испытание	
	3, 4, 6, 12, 13	5, 6, 8, 11	9, 10	5, 6, 8, 11	9, 10
40	4	9	21	-	-
55	-	-	-	4	9

В условиях кратковременных испытаний на влагоустойчивость при циклическом режиме изделия подвергаются воздействию 2 или шести циклов, продолжительность каждого из которых составляет 24 часа. Число циклов устанавливается в ТУ в зависимости от конструкции и назначения изделия. Каждый цикл состоит из этапов, указанных на рис. 9.1.

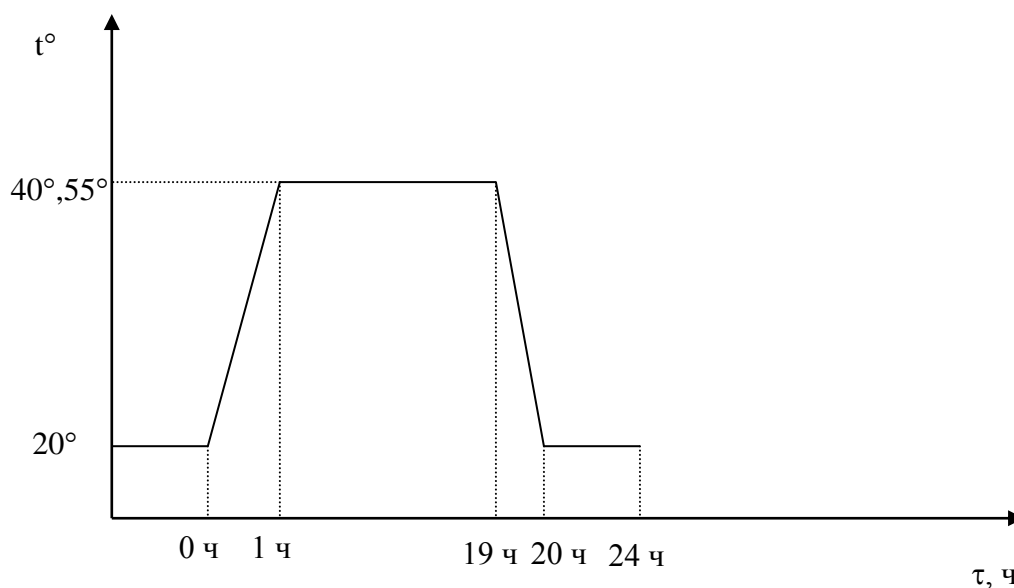


Рисунок 9.1

Повышение температуры должно быть достаточно быстрым, чтобы обеспечить конденсацию влаги на поверхности ЭС.

В непрерывном режиме испытаний не предусматривается конденсации влаги на изделии, поэтому непрерывные испытания

проводят при постоянных значениях температуры. Различают два подрежима испытаний:

- длительный;
- ускоренный.

Время выдержки ЭС в камере определяется в зависимости от степени жесткости (см. таблицу 9.3).

Таблица 9.3 – Продолжительности, сут. На влагоустойчивость при непрерывном режиме испытаний.

Характер испытаний	Длительные испытания для степеней жесткости					Ускоренные испытания для степеней жесткости		
	1	2	3, 4, 7, 8	5, 6, 8, 11	9, 10	3, 4, 7, 13	5, 6, 8, 11	9, 10
Продолжительность испытаний	2	4	10	21	56	4	7	17
Температура °С	25	25	40	40	40	55	55	55

Все виды испытаний на влагоустойчивость проводятся без электрической нагрузки. Испытание под электрической нагрузкой предусматривают в том случае, если в условиях эксплуатации у этих изделий при увлажнении под напряжением возможно появление разрушающих действий электролиза или электрохимической коррозии. В виде нагрузки используется напряжение, обеспечивающее минимальное выделение тепла в испытываемых изделиях, т.к. в противном случае может проявляться процесс подсушивания участка изделия.

Измерение параметров и другие проверки испытуемого ЭС проводят, как правило, в конце испытания без извлечения изделий из камеры влажности.

9.2 Оборудование, применяемое при проведении испытаний на влагоустойчивость

Для проведения испытаний ЭС на воздействие влаги применяют камеры тепла и влаги.

Классификация испытательных камер.

1. По способу получения влажного воздуха:

- инъекционные;

- неинжекционные;
- за счет распыления нагретой воды;
- за счет введения в камеру паро-воздушной смеси.

Инжекционными называют камеры, повышение влажности в которых создается путем введения (инжектирования) в их рабочий объем влажного воздуха.

Неинжекционными называют камеры, повышение влажности в которых создается за счет испарения влаги с открытой поверхности.

9.3 Средства измерения повышенной влажности

Для измерения влажности применяют приборы, называемые *гигрометрами*.

В камерах влажности для измерения и автоматического регулирования влажности воздуха находят наибольшее применение следующие методы:

- психометрический;
- сорбционный.

Психометрический метод основан на определении разности температур, измеренных сухим и мокрым термометром.

Достоинства: высокая точность измерения, небольшая инерционность.

Недостатки: ограниченный диапазон измерения, зависимость результатов измерения от скорости циркуляции воздуха и от атмосферного давления.

Сорбционный метод основан на применении гигроскопических тел, изменяющих свои свойства от количества поглощенной влаги.

В зависимости от материала, использованного для построения влагочувствительного элемента, и параметра, изменяющегося под действием влаги, различают сорбционные гигрометры:

- деформационные;
- электрические;
- массовые;
- цветные и т.д.

Наибольшее применение в камерах влажности получили электрические сорбционные гигрометры. В них относительная влажность среды определяет сопротивление гигрометра.

ЛЕКЦИЯ 10

10.1 Испытания на воздействия солнечного излучения

Испытания на воздействие солнечного излучения проводят с целью проверки сохранения внешнего вида и параметров изделия после воздействия солнечного излучения. Данному виду испытаний подвергаются ЭС или применяемые в них конструктивные элементы, покрытия, выполненные из органических материалов, которые не подвергались ранее воздействию других видов испытаний.

Также испытания на воздействие солнечного излучения показывают влияние солнечного излучения на:

- тепловые;
- механические;
- химические;
- электрохимические и др.

явления, происходящие в испытываемых изделиях.

В зависимости от цели испытаний находят применение три способа проведения испытаний.

Метод А применяется, когда основным интерес представляют результаты теплового воздействия. Метод А характеризуется 24-часовым циклом, состоящим из 8-часовой фазы облучения и 16-часовой темновой фазы. За указанный период времени обеспечивается получение изделием облучения, соответствующего наиболее жестким условиям эксплуатации ($8.96 \text{ кВт}\cdot\text{м}^2$). Количество циклов обычно равно 3, но для крупногабаритных изделий требуется увеличить это число (см. рис. 10.1).

Метод В применяется, когда основным интерес представляют процессы деградации. Метод В характеризуется 24-часовым циклом состоящим из 20-часовой фазы облучения и 4-часовой темновой фазы. При этом доза облучения составляет $22.4 \text{ кВт}\cdot\text{м}^2$. Известно, что фотохимические процессы деградации материалов зависят также от влажности окружающей среды, поэтому иногда в начале 20-часовой фазы облучения возможно воздействие влажного тепла (влажность 93% при $T=40$) (см. рис. 10.1).

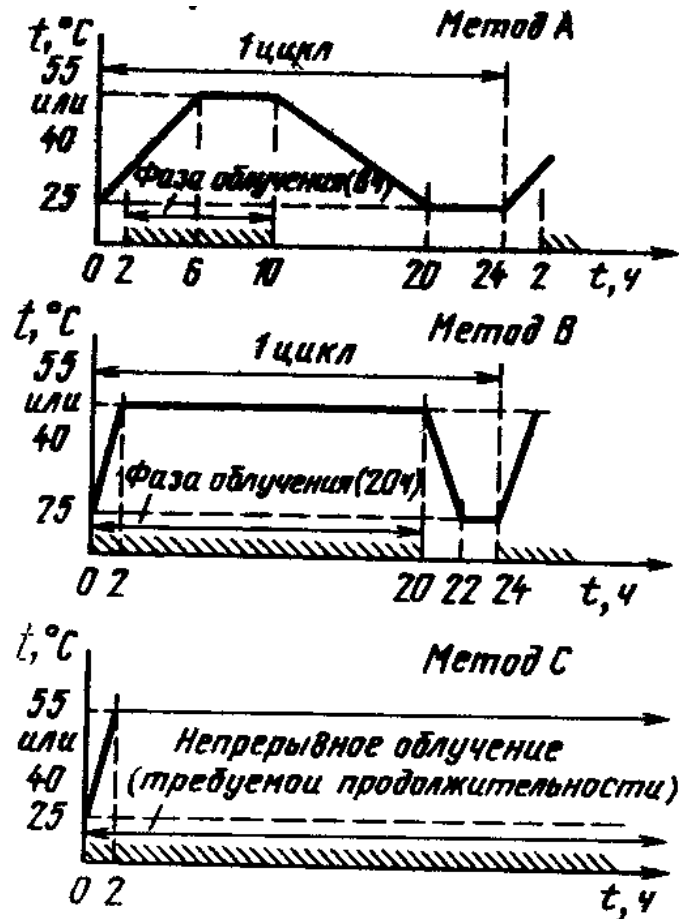


Рисунок 10.1

Метод С применяется, когда необходимо оценить только фотохимический эффект, а циклические тепловые нагрузки не имеют значения. Метод С характеризуется непрерывным 24-часовым облучением. Данный метод считается упрощенным, и при его применении могут быть не выявлены явления деградации, обусловленные циклическими тепловыми нагрузками (см. рис. 10.1).

Испытания проводят в камере солнечной радиации. Испытуемое ЭС располагают в камере таким образом, чтобы наиболее уязвимые детали (изготовленные или имеющие покрытие из органических материалов) были обращены к источникам излучения. После испытаний делают визуальный осмотр этих деталей и измеряют только те параметры ЭС, стабильность которых зависит от состояния узлов, подверженных солнечному излучению.

10.1.1 Оборудование, применяемое для проведения испытаний на воздействие солнечного излучения

Для проведения испытаний на воздействие солнечного излучения применяют камеры солнечной радиации, которые обеспечивают необходимую плотность солнечного излучения и могут при необходимости поддерживать заданную температуру и влажность путем введения теплого влажного воздуха непосредственно в объем камеры.

Главным элементом камеры солнечного излучения является источник освещения.

Источники освещения различаются по физической природе излучения, они бывают основаны:

- на нагревании (вольфрамовые лампы);
- на принципе электролюминесценции (газоразрядные трубки);
- на одновременном использовании нагрева и электролюминесценции (ртутно-паровые лампы высокого и сверхвысокого давления).

10.1.2 Средства измерения воздействия солнечного излучения

Для оценки солнечной радиации находят применение ряд приборов:

- *Пиргелиометр* – прибор для измерения прямого солнечного излучения, падающего на поверхность перпендикулярно солнечным лучам.
- *Пиранометр* – прибор для измерения суммарного рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность.
- *Актинометр* – прибор для измерения интенсивности прямого солнечного излучения.

10.2 Испытания на воздействие пыли

Испытания на воздействие пыли делятся на:

- динамические;

- статические;
- на пылепроницаемость.

Целью динамических испытаний на воздействие пыли является проверка устойчивости изделия к разрушающему (абразивному) воздействию пыли.

Статические испытания на воздействия пыли проводят с целью проверки способности ЭС работать в среде с повышенной концентрацией пыли.

Основной целью испытаний на пылепроницаемость является выявление способности конструкции изделия препятствовать проникновению пыли внутрь его оболочки.

Параметры испытаний на воздействие пыли приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1

Вид воздействия	Состав пылевой смеси, %	Размер частиц пыли, мкм	Продолжительность обдува, ч	Скорость циркуляции воздуха	Концентрация пыли. Г* м-3
Динамическое	Кварцевый песок 70; мел 15; каолин 15	<200	2	10...15	2
Статическое	Кварцевый песок 60; мел 20; каолин 20	<50	2+оседание пыли 2 часа	0,5...1	2
На проницаемость	Не нормируется 10% флюоресцирующего порошка	<50	2	0,5...1	Не нормируется

Изделия считают выдержавшими испытания, если в процессе и (или) после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в ТУ. В случае с пылепроницаемостью критерием для отбраковки служит попадание пыли внутрь изделия.

10.2.1 Оборудование, применяемое для проведения испытаний на воздействие пыли

В основном находят применение две конструкции камер:

- камера для испытаний на динамическое воздействие пыли;

- камера на статическое воздействие пыли.

В первой камере создается пылевой поток, который обдувает испытуемое ЭС.

Во второй камере пыль завихряется и поддерживается во взвешенном состоянии, за счет постоянной циркуляции воздуха в объеме камеры.

10.2.2 Средства измерения значений параметров пыли

Методы измерения параметров пыли делятся на следующие:

- с выделением дисперсной фазы;
- без выделения дисперсной фазы.

Первый метод в зависимости от физических принципов, заложенных в основе, делится на:

- массовый;
- оптический;
- фотоэлектрический и т.д.

Второй метод, позволяющий проводить регистрацию концентрации пыли, основан на фотооптическом принципе, позволяющем оценить светопрозрачность смеси пыль-воздух.

ЛЕКЦИЯ 11

11.1 Испытания на воздействие соляного тумана

Этот вид испытаний можно отнести как к климатическим испытаниям, так и к коррозионным. Испытания на воздействие соляного тумана проводят с целью определения коррозионной стойкости ЭС в атмосфере, содержащей водные растворы солей.

Такая атмосфера характерна для умеренного и тропического морского климатического региона.

Испытания могут проводиться одним из следующих методов:

- выдержкой ЭС в соляном тумане с периодическим распылением соляного раствора;
- при непрерывном распылении соляного раствора с последующей выдержкой ЭС в чистой влажной атмосфере при повышенной температуре.

Главным условием при проведении испытаний на воздействие соляного тумана является требование, чтобы соляные брызги из разбрызгивателей, а также с внутренней поверхности камеры не попадали на поверхность испытуемых ЭС.

При испытании первым методом в камере устанавливают температуру 27 ± 2 °С и подвергают изделие воздействию соляного тумана, получаемого распылением соляного раствора. Продолжительность испытаний должна составлять 2, 7 или 10 суток.

Испытание вторым способом может проводиться как в одной камере (если ее конструкция позволяет осуществить заданный режим испытания), так и в двух камерах (соляного тумана и влаги). Испытание проводится циклами. Один цикл включает в себя помещение изделия в камеру соляного тумана, установление в ней температуры 15...35 °С и воздействие соляного тумана. Через два часа в камере изменяют режим или переносят изделие в камеру влаги; в обоих случаях изделие выдерживают еще 22 часа при температуре 40 ± 2 °С и относительной влажности 95 %. Время переноса не более 5 мин. В процессе испытаний ЭС подвергают воздействию 1; 3 или 6 подобных циклов.

11.1.1 Средства измерения параметров соляного тумана

При испытании на воздействие соляного тумана, который создается распылением соляного раствора, возникает необходимость измерений значений дисперсности, водности, концентрации раствора, а также значения водородного показателя рН.

Водность тумана меряют расходом через сливные коллекторы в камере. Требуемый расход не менее 0.1...0.3 мл в час.

Дисперсность тумана определяют методом микрофотографирования. Стекло с трансформаторным маслом помещают в камеру на 30 сек. Потом его фотографируют и считают количество капель, а также определяют их средний размер.

рН измеряют при помощи рН-метров, состоящих из стеклянного индикаторного и хлорсеребряного электродов сравнения, между которыми измеряется разность потенциалов.

11.2 Испытания на воздействие пониженного атмосферного давления

Целью испытаний ЭС на воздействие пониженного атмосферного давления является определение их пригодности для эксплуатации в наземных или авиационных условиях на больших высотах при атмосферных давлениях не ниже 1.33 кПа.

Различают три вида испытаний на воздействие пониженного давления:

- испытания при нормальной температуре;
- испытания при повышенной температуре;
- испытания при пониженной температуре.

Испытаниям на воздействие пониженного давления при нормальной температуре подвергаются тепловыделяющие и нетепловыделяющие ЭС, находящиеся в рабочем состоянии, для которых температурные воздействия не являются критичными, так как не оказывают влияние на их тепловой режим работы.

Испытаниям на воздействие пониженного давления при повышенной или пониженной температуре подвергаются тепловыделяющие и нетепловыделяющие ЭС, для которых температурное воздействие является критичным.

Таблица 11.1 – Предпочтительные комбинации минусовой и плюсовой температуры, атмосферного давления и длительности испытаний

Температура, °С		Атмосферное давление, кПа	Длительность, ч.
Пониженная	Повышенная		
55	85,155	4.4	2
55	55, 85, 155	15	2
55	55	30	2
25	55	53,3	2, 16
40	-	53,3	2, 16
-	40	60	2
40	55	70	2, 16

11.2.1 Оборудование, применяемое при проведении испытаний на воздействие пониженного атмосферного давления

Для испытаний на воздействие пониженного атмосферного давления применяют *термобарокамеры*, воспроизводящие пониженное давление при нормальной, повышенной и пониженной температуре.

Различают два типа термобарокамер:

- при наружном расположении термоизоляции;
- при внутреннем расположении термоизоляции.

11.2.2 Средства измерений при испытаниях на воздействие пониженного атмосферного давления

Для измерения давления в термобарокамере используют манометры, которые классифицируются по ряду признаков:

1. По виду измеряемого давления:

- вакуумметры (меряющие разность давления между барометрическим давлением и давлением в камере);
- барометры (измеряющие абсолютное давление).

2. По принципу действия различают:

- жидкостные;
- деформационные;
- грузопоршневые;
- электрические.

Наибольшее распространение получили деформационные манометры с упругим элементом.

ЛЕКЦИЯ 12

12.1 Испытания на воздействия биологических факторов

Испытания на биостойкость (биоустойчивость) проводят с целью определения способности ЭС сохранять в условиях воздействия на нее биологических факторов значения показателей в пределах, установленных в НТД.

В настоящее время ГОСТами регламентируется учет следующих биофакторов:

- плесневелых грибов;
- насекомых;
- грызунов;
- почвенных микроорганизмов.

Наибольшие разрушения ЭС возникают под действием грибковой плесени.

В соответствии с целями испытаний различают три метода проведения испытаний на воздействие плесневелых грибов.

Первый метод предусматривает определение устойчивости используемых в изделии материалов к воздействию плесени. Он реализуется путем контроля степени роста плесени на поверхности изделия. Продолжительность испытания 28 сут.

Второй метод используется для определения степени влияния плесени на рабочие характеристики ЭС после 84-суточной выдержки. Однако столь длительная выдержка сама по себе может повлиять на характеристики ЭС (хотя бы за счет воздействия влаги) и поэтому испытание проводят на двух группах изделий. Одна группа подвергается воздействию плесени, другая находится в тех же условиях, но не подвергается воздействию плесени. Результаты сравниваются, и оценивается влияние плесени.

Третий метод применяют для оценки влияния на рабочие характеристики изделия 24-часового восстановления, после 84-суточной выдержки.

Для проведения испытаний на воздействие плесени необходимо создать условия окружающей среды, благоприятные для роста плесневелых грибов; температура $29 \pm 2^{\circ}\text{C}$, влажность 90%.

Для этого используют специальные камеры грибообразования, которые обеспечивают эти условия и отличаются хорошей равномерностью распределения температуры и влажности по объему камеры.

В камеру устанавливаются испытуемые ЭС и контрольные чашечки Петри, по которым судят о жизнеспособности грибковых спор.

Результаты испытаний оценивают по росту плесени на ЭС. Оценка роста плесени происходит по четырехбальной системе (ранее была 6-бальная система).

0 – нет видимого роста грибов при 56-кратном увеличении;

1 – видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий в виде неветвящихся гиф при 56-кратном увеличении;

2 – отчетливо виден рост грибов невооруженным глазом менее 25% поверхности;

3 – рост грибов превышает 25% поверхности.

Изделия электронной техники и электротехнические считаются выдержавшими испытания, если рост грибов не превышает 2 бала.

При специфических условиях эксплуатации проводят испытания на воздействия термитов, моли и грызунов.

12.2 Испытания на воздействия коррозии

Испытания на воздействие коррозионно-активных агентов могут быть:

- нормальными;
- ускоренными;
- проводимыми на климатических испытательных станциях.

При проведении *нормальных испытаний* значения параметров испытательного режима и продолжительность испытаний изделий на стойкость к воздействию специальных сред устанавливают в зависимости от условий эксплуатации.

Испытания на атмосферную коррозию проводят на специальных *климатических испытательных станциях*. Этот вид испытаний отличается продолжительностью и высокой стоимостью.

Поэтому широкое распространение получили *ускоренные испытания* на воздействие атмосферной коррозии. Ускорение процесса испытания осуществляется за счет изменения значений одного или нескольких параметров, определяющих скорость коррозии.

К таким параметрам относятся:

- относительная влажность;
- степень конденсации влаги;
- температура;
- концентрация коррозионно-активных агентов;
- продолжительность испытаний и чередование условий их проведения и т.д.

Также существенное влияние на процесс коррозии оказывает состояние поверхности изделия.

В качестве примера испытания на воздействие коррозии рассмотрим испытание на воздействие атмосферы, содержащей сернистый газ.

12.2.1 Испытание на воздействие атмосферы, содержащей сернистый газ

Этот тип испытаний проводят с целью определения способности контактов и соединений ЭС сохранять свои параметры и внешний вид в условиях воздействия атмосферы, содержащей сернистый газ.

Испытания могут проводиться:

- периодическим воздействием атмосферы, содержащей сернистый газ;
- непрерывным воздействием атмосферы, содержащей сернистый газ.

При периодическом воздействии процесс испытаний складывается из определенного числа циклов. Один цикл продолжается 24 часа, в течение которого в камере осуществляют два режима испытаний. Первый режим характеризуется наличием сернистого газа в атмосфере, температурой 25 ± 2 , относительной влажностью $85\pm 5\%$, продолжительность выдержки 8 часов. Во время второго режима подача сернистого газа прекращается,

температура поднимается до 40, а влажность понижается до 70%, продолжительность выдержки – 14 часов. Время перехода от одного режима к другому – 2 часа.

В зависимости от требований к изделию устанавливают число циклов 2, 4, 8.

При непрерывном воздействии устанавливают первый режим испытаний, уменьшив значение влажности до 75%. Продолжительность выдержки – 4, 10, 12 суток.

По окончании испытаний ЭС извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях от 1 до 24 часов, после чего проводят осмотр и измеряют параметры ЭС (контактное сопротивление).

12.3 Средства измерения значений параметров коррозионно-активных сред

При проведении испытаний на воздействие коррозионно-активных агентов является важным измерение:

- расхода коррозионно-активного газа (или скорости);
- концентрации коррозионно-активного агента в атмосфере.

Расход измеряется при помощи расходомеров, в частности используются ротаметры.

Определение концентрации может производиться следующими методами:

- фотоколориметрическим (сравнение по окраске);
- нефелометрическим (сравнение по мутности);
- химическим;
- объемным.

ЛЕКЦИЯ 13

13.1 Испытания ЭС на космические воздействия

В испытания ЭС на космические воздействия входят следующие виды испытаний:

- на воздействие ультранизких давлений;
- на воздействие криогенных температур;
- термовакуумные испытания;
- испытания на воздействие электромагнитного излучения солнца;
- на воздействие невесомости;
- на воздействие микрометеоритов;
- на воздействие солнечного ветра и нестационарных потоков плазмы электросферы и протоносферы земли.

Более подробно мы рассмотрим лишь некоторые из них.

13.2 Испытания на воздействия ультранизких давлений

Испытания на устойчивость к воздействию ультранизких давлений проводят для определения способности ЭС сохранять при ультранизких давлениях свои параметры в пределах, указанных в НТД.

Ориентировочные давления, требуемые для воспроизведения в лабораторных условиях, приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1

№	Исследуемый процесс или явление	Граничное значение давления, Па
1	Проверка механической прочности и герметичности корпусов ЭС	10^3
2	Исключение воздушного демпфирования конструкции ЭС при вибрации	10^{-1}
3	Проверка теплового режима ЭС при теплопередаче излучением	10^{-2}
4	Влияние электрических разрядов, утечек, ионизации на работоспособность ЭС	10^{-3}

Длительность испытания определяется продолжительностью установления стационарности исследуемого процесса.

Испытаниям на воздействие ультранизких давлений ЭС подвергаются в специальных вакуумных установках.

13.3 Испытания на воздействие криогенных температур

Испытания ЭС на воздействие криогенных температур проводят с целью оценки устойчивости их параметров при криогенных температурах.

Испытания на воздействие криогенных температур реализуют при помощи критермовакуумных испытательных установок. Охлаждение достигается путем прокачки через охлаждающие криорешетки жидкого азота или гелия.

13.4 Термовакуумные испытания

Целью испытаний космических ЭС при термовакуумных испытаниях является:

- проверка работоспособности ЭС в условиях нестационарных градиентов температуры;
- определение оптимального по температурному критерию размещения ЭС;
- выявление фактических запасов температурных допусков ЭС;
- определение ресурса ЭС;
- исследование температурных деформаций ЭС.

Моделирование теплового режима ЭС производится в вакуумной камере, где устанавливаются имитаторы Солнца, планеты и орбиты.

Продолжительность испытания определяется условиями эксплуатации ЭС.

13.5 Испытания на воздействие невесомости

Испытания на воздействие невесомости на ЭС проводят с целью определения влияния невесомости на значения характеристик ЭС.

Испытания проводят при помощи следующих средств:

- башни сбрасывания;
- падающий лифт;
- полет самолета по каплеровской траектории;
- испытательные полеты ракет по баллистическим траекториям;
- штатные полеты космических кораблей и спутников.

Наиболее распространены башни сбрасывания. Так как создать условия вакуума для устранения эффекта аэродинамического торможения внутри башни сложно, то применяют специальные сбросные контейнеры с вакуумом внутри.

13.6 Испытания на воздействие микрометеоритов

Испытания на воздействие микрометеоритов проводят в лабораторных условиях с помощью ускорителей, работающих на сжатом воздухе, или взрывных ускорителях, где используются кумулятивные заряды и др. типы ускорителей.

Частицы с частотой примерно 50 част/с разгоняются до скорости 25 км/с и соударяются с поверхностью ЭС. В результате чего на поверхности ЭС образуются микрократеры. В результате испытаний оценивают устойчивость ЭС к воздействию микрометеоритов.

Так как в условиях реальной эксплуатации на ЭС вышеперечисленные воздействия действуют одновременно, то и при испытаниях желательно подвергать ЭС комплексному воздействию факторов. Для этого были созданы установки для проведения испытаний при совместном действии факторов космического пространства. В ее состав входит:

- термовакуумная камера;
- ускорители протонов и электронов;
- имитатор солнца;
- вакуумная разрывная машина.

ЛЕКЦИЯ 14

14.1 Радиационные испытания

ЭС космических объектов, атомной энергетики и систем радиационной технологии подвергаются воздействию различных видов излучений в процессе своего функционирования. Эти излучения образуются потоками зараженных или нейтральных частиц, а также рентгеновских или гамма-квантов. Поэтому ЭС, находящиеся при эксплуатации под воздействием какого-либо излучения, должны подвергаться испытаниям на воздействия радиации.

Все виды радиационных испытаний могут быть разделены по следующим признакам:

1. По характеру процесса взаимодействия излучения с веществом:

- *Испытания на радиационную стойкость*, при которых проверяется работоспособность ЭС относительно происходящих в ней дозных эффектов.

- *Испытания на радиационную устойчивость*, при которых проверяется работоспособность ЭС относительно происходящих в ней мощностных эффектов.

2. По условиям проведения испытаний:

- *Натурные испытания*, которые проводятся при эксплуатационных воздействиях (например, путем установки объектов испытания на борт космического корабля, в шахту, где проводится подземный ядерный взрыв, в выведенный канал ядерного реактора).

- *Лабораторные испытания*, которые проводят на установках, где модулируются эксплуатационные условия (например, на ускорителях, изотропных источниках и т.п.)

3. По виду воздействия:

- *Испытания на воздействия электромагнитных излучений* (рентгеновских и гамма-квантов).

- *Испытания на воздействия потоков нейтронов.*

- *Испытания на воздействия потоков ионов и протонов.*

При проведении радиационных испытаний решают следующие основные задачи:

- определить вероятность безотказной работы ЭС и вероятность отказов в реальных условиях эксплуатации;
- оценить уровень стойкости и/или устойчивости к воздействию излучений во время и после его воздействия;
- проверить эффективность разработанных методов повышения стойкости и устойчивости изделия;
- собрать информацию для реализации расчетных моделей и методов прогнозирования стойкости и устойчивости изделия к воздействию излучения.

14.2 Испытания на воздействия рентгеновского и γ -излучения

Испытания на воздействие рентгеновского и γ -излучения делятся на два подвида:

- испытания на импульсное воздействие Р- и γ -излучения;
- испытания на воздействие постоянного воздействия Р- и γ -излучения.

ЛЕКЦИЯ 15

15.1 Испытания на воздействие рентгеновского и-излучения

Испытания на воздействие рентгеновского и-излучения делятся на два подвида:

- испытания на импульсное воздействие рентгеновского и-излучения;
- испытания на воздействие статического (непрерывного) излучения.

Это разделение появилось из-за того, что импульсное и стационарное воздействия радиации оказывают различное действие на ЭС.

Воздействие непрерывной радиации приводит, как правило, к постепенному необратимому изменению электрических параметров комплектующих изделий, входящих в состав ЭС. Происходит это за счет структурных повреждений материала изделия у биполярных полупроводниковых приборов или вследствие накопления заряда в чувствительных элементах ЭС с МДП-структурой, а также незначительного изменения химического состава (активация материала изделия).

Воздействие импульсного рентгеновского и-излучения импульсных реакторов и ядерного взрыва приводят к возникновению:

- обратимых эффектов;
- необратимых катастрофических эффектов;
- необратимых параметрических эффектов.

Обратимые эффекты в ЭС проявляются в виде ложных сигналов и срабатываний, искажения информации в памяти и нарушений вычислительного процесса, увеличения ошибок в системах управления и т.п.

Необратимые катастрофические эффекты проявляются в виде тепловых пробоев в полупроводниковых приборах и компонентах интегральных систем, перегорания токоведущих дорожек и т.п.

Необратимые параметрические эффекты проявляются в виде необратимых изменений параметров ЭС.

Поэтому ЭС, подвергаемые в эксплуатационных условиях воздействию импульсного излучения ядерных реакторов и при ядерном взрыве и вторичном излучении от попадания импульсных потоков протонов и электронов соответствующих ускорителей, испытываются на стойкость с использованием генераторов импульсного излучения. При этом проверяется сохранение работоспособности в условиях необратимых изменений параметров и характеристик изделия через некоторое время после прекращения воздействия, т.е. проверяется главным образом отсутствие недопустимых изменений электрических свойств ЭС из полупроводниковых материалов, сохранение электрических и прочностных свойств органических диэлектриков и оптических свойств стекол.

15.1.1 Испытания на импульсное воздействие рентгеновского и-излучения

Испытания на импульсное воздействие рентгеновских и-излучений осуществляется при помощи генераторов импульсов этих излучений.

Методика проведения испытаний на импульсное воздействие с использованием установок содержит, как правило, два специальных раздела. В первом разделе излагаются задачи проведения испытаний и способы их решения, во втором описываются схема размещения установок, создающих необходимые воздействия, изделия, средств измерения и их соединения. Остальные разделы методик традиционны.

Основными задачами испытаний на установках тормозного излучения являются:

- определение максимальной мощности экспозиционной дозы излучения, при которой еще не происходит сбоев в работе ЭС (уровень работы без сбоев);
- выявление наличия и вида необратимых и обратимых отказов в работе ЭС при требуемых уровнях мощности дозы;
- оценка степени восстанавливаемости работоспособности ЭС и способности решать возложенные на него целевые задачи после воздействия ионизирующего излучения с требуемой мощ-

ностью дозы, а так же возможного времени потери работоспособности ЭС.

При определении уровня работы без сбоев испытываемые ЭС многократно нагружаются импульсным тормозным излучением. При этом осуществляется направленный поиск диапазона мощностей доз, при верхней границе которой сбой в работе изделия происходит, а при нижней нет, а сам диапазон составляет величину, не превышающую необходимую точность в оценке этого уровня. Учитывая, что уровень работы изделия без сбоев зависит от длительности и формы воздействующего импульса излучения, а длительности и формы импульсов испытательных установок могут существенно отличаться от соответствующих параметров импульсов рентгеновского излучения в условиях эксплуатации ЭС, целесообразно проводить испытания на нескольких установках с существенно различающимися параметрами импульсов либо использовать соответствующие методики перерасчета результатов испытаний на одной установке к условиям эксплуатации ЭС.

При решении задач определения видов сбоев и времени потери работоспособности изделия, нагружение проводится, как правило, импульсом тормозного излучения с требуемой мощностью дозы. Учитывая, что переходные процессы в изделии существенно зависят от формы и длительности импульса излучения, уровень нагружения определяют с учетом различий параметров импульсов при испытаниях и в условиях эксплуатации ЭС.

В силу ограничений, связанных с площадью выходного окна ускорительной трубки и мощности установки, в ряде случаев не представляется возможным осуществлять нагружение с требуемыми мощностью и равномерностью облучения всей аппаратуры в целом. В этих случаях облучение площади испытываемого образца ЭС проводится по частям поочередно с двух противоположных сторон. ЭС целесообразно испытывать в режиме функционирования, наиболее тяжелом с точки зрения последствий воздействия рассматриваемых излучений.

Особенности размещения испытываемых ЭС и их соединений с контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой состоят в следующем. ЭС соединяется с контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой, задающей режим работы, соеди-

нительными линиями длиной 5...20 метров. Для снижения уровня электромагнитных наводок и помех соединительные линии прокладываются в стальных трубах. Перед испытаниями без подачи электрического питания на испытуемое ЭС регистрируется уровень электрических наводок на соединительных линиях в момент возникновения импульса рентгеновского γ -излучения. Если уровень электромагнитных наводок и помех оказывается выше допустимого, принимаются дополнительные меры защиты.

15.1.2 Испытание на воздействие статического (непрерывного) излучения

Испытание на воздействие статического (непрерывного) излучения, выявляющее необратимые изменения параметров, реализуется с помощью кобальтовых установок, в которых в качестве излучателя применяются радиоактивные изотопы Co^{60} . Энергия гамма-излучения Co составляет примерно 1.25 МэВ.

Методика проведения испытаний с использованием изотопных источников – излучения содержит три специфических раздела. В первом из них формулируются задачи проведения данного испытания.

Задачами испытания на статических гамма-установках является:

- определение характера и закономерности изменения технических характеристик изделий;
- установление параметров, наиболее чувствительных к воздействию гамма-излучений;
- определение изменения параметров при воздействии различных доз гамма-излучений;
- определение дозы гамма-излучения, при которой технические параметры ЭС находятся в пределах требуемых норм.

Второй раздел относится к определению режима испытаний в зависимости от того, какие комплектующие элементы входят в состав изделий. Если в изделиях отсутствуют МДП-транзисторы и КМОП-интегральные схемы, то дозовые эффекты в них слабо зависят от мощности дозы гамма-излучения, при которой облучается ЭС. При наличии в изделии этих элементов в диапазоне

мощностей доз гамма-излучения от 1 до 100 Р*с⁻¹, дозовые эффекты увеличиваются с увеличением мощности дозы, при которой облучается изделие. При мощностях доз более 100 Р*с эта зависимость становится несущественной. Таким образом, в первом случае (при отсутствии в изделии МДП-транзисторов) выбор режима излучения можно осуществлять без учета возможных условий эксплуатации ЭС, а во втором случае – с учетом этих условий.

В изделиях, в которых используются фотоэлектронные приборы, наблюдаются отжиговые процессы после облучения. Для таких изделий необходимо контролировать параметры не только в процессе испытаний но и в течение достаточно длительного времени после облучения.

Третий раздел содержит описание особенности размещения испытуемых ЭС и их соединений с контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой. По содержанию он аналогичен соответствующему разделу методик испытаний на импульсное воздействие гамма-излучения.

15.2 Испытания на воздействия потоков нейтронов

Испытания на воздействия потоков нейтронов проводятся для определения обратимых и необратимых изменений параметров изделия, которые могут возникнуть при воздействии нейтронов ядерных энергетических установок, ядерного взрыва или вторичного нейтронного излучения, возникающего при воздействии на корпус космического объекта (или корпус ЭС, расположенных на внешней поверхности этого ЭС) высокоэнергетичных космических излучений (главным образом при солнечных вспышках).

Поскольку имеются существенные различия во влиянии на работоспособность ЭС непрерывных и импульсных излучений, то в зависимости от того, каким видам воздействия они подвергаются в эксплуатации, используются испытания на исследовательских импульсных или статических ядерных реакторах.

Обычно стремятся наиболее ответственные ЭС этого класса испытывать в натуральных условиях подземных ядерных взрывов, так как при лабораторных испытаниях на исследовательских им-

пульсных ядерных реакторах не удастся воспроизвести в полной мере характеристики радиации ядерного взрыва.

Все ядерные реакторы являются генераторами не только нейтронов, но и гамма-излучения, что необходимо учитывать при обработке методики испытания ЭС и анализа полученных результатов испытаний.

15.2.1 Испытания на воздействия импульсных потоков нейтронов

Испытаниям на воздействия импульсных потоков нейтронов подвергаются изделия, которые должны сохранять работоспособность во время и/или после воздействия ядерного взрыва. Для таких испытаний используются импульсные исследовательские ядерные реакторы, которые представляют собой активную зону из критической сборки радиоактивного вещества в виде цилиндра. Импульсная работа реактора осуществляется путем быстрого введения в активную зону специального стержня из делящегося материала. Спектр нейтронов импульсных ядерных реакторов близок к спектру деления ядер урана U^{235} .

При испытаниях ЭС на импульсных ядерных реакторах решаются следующие основные задачи:

- определение наличия и вида обратимых отказов и степени необратимых изменений параметров ЭС при требуемом потоке нейтронов в течение одного импульса;
- оценка времени потери (восстановления) работоспособности ЭС.

Особенности размещения ЭС обуславливаются двумя обстоятельствами. Во-первых, ЭС располагают вблизи активной зоны, т.к. поток нейтронов обратно пропорционален квадрату расстояния от центра активной зоны, поэтому поток нейтронов регулируют расстоянием от испытуемого ЭС до активной зоны. Во-вторых, с помощью охлаждающих экранов стремятся предотвратить попадание на ЭС потоков теплового и гамма-излучения.

При оценке результатов испытаний необходимо учитывать следующие:

- при испытании крупногабаритных ЭС в силу ограничения импульсных реакторов по мощности в ряде случаев требуемый

поток нейтронов набирается за несколько импульсов, поэтому необходимо суммировать дозы за каждый импульс (с учетом восстановления параметров между импульсами);

- спектрально-энергетические характеристики нейтронов исследовательских ядерных реакторов и в условиях эксплуатации могут существенно различаться. Это различие учитывается коэффициентами относительной эффективности действия нейтронов с различными энергетическими спектрами;

- показания дозиметров могут содержать погрешность вследствие воздействия гамма-излучения, которое вносит также дополнительные изменения в параметры изделия, что необходимо учитывать при введении соответствующих поправок.

Следует отметить, что ЭС после испытаний становятся радиоактивными, поэтому они, как правило, подлежат уничтожению.

15.2.2 Испытания на воздействие непрерывных потоков нейтронов

Испытаниям на воздействие непрерывных потоков нейтронов подвергаются ЭС, на которые в условиях эксплуатации воздействуют потоки нейтронов от ядерных энергетических реакторов или протонных источников (в частности приборы, используемые в нейтронных методах дефектоскопии).

Для этих испытаний применяют, как правило, водородные реакторы бассейного типа на тепловых нейтронах, так как они отличаются от других реакторов сравнительно большим отношением потока быстрых нейтронов к потоку тепловых нейтронов.

При этих испытаниях используются те же правила размещения испытуемых ЭС и оценка результатов, что и при испытаниях на импульсное воздействие потоков нейтронов.

В соответствующем разделе методики испытаний формулируется, какая из перечисленных ниже задач решается в результате испытаний:

- определение закономерностей изменения технических характеристик ЭС в зависимости от потока нейтронов;
- установление параметров ЭС, наиболее чувствительных к воздействию нейтронов;

- определение степени изменения значений параметров ЭС при воздействии различных потоков нейтронов;
- определение потока нейтронов, при котором изменение значений параметров ЭС находится в пределах установленных норм.

При определении характеристик потока нейтронов учитывается, что длительное действие нейтронов большой интенсивности может привести к радиационному перегреву ЭС. В связи с этим при испытаниях значение плотности потока нейтронов выбирается из диапазона $10^8 \dots 10^{11}$ нейтр*см⁻²*с⁻¹. Если требуется большее значение плотности потока нейтронов, необходимо предусматривать принудительное охлаждение ЭС, например с помощью обдува.

ЛЕКЦИЯ 16

16.1 Испытания на воздействие ионизирующих излучений (потоков протонов, электронов и ионов)

Испытаниям на воздействие ионизирующих излучений подвергаются ЭС, используемые в космосе, или средства измерений, установленные в зоне действия ускорительной техники, для радиационной технологии. Эти испытания подразделяются на:

- натурные;
- лабораторные.

Натурные испытания на воздействие ионизирующих излучений проводят на космических объектах или с помощью исследовательских ракет. Целью этих испытаний является:

- оценка радиационной стойкости бортовых ЭС к длительному воздействию потоков с реальным энергетическим спектром и временными характеристиками;
- проверка устойчивости бортовых ЭС к радиационным воздействиям;
- оценка эффективности защиты ЭС от воздействия ионизирующих потоков.

Лабораторные испытания на воздействие ионизирующих излучений проводят с теми же целями, что и натурные, а также для определения наиболее критичных видов воздействия.

Для лабораторных испытаний используют специальные источники заряженных частиц. Они, как правило, в отличие от реальных условий, могут давать только моноэнергетические потоки, поэтому в ряде случаев необходимо обеспечить эквивалентность лабораторных и натуральных испытаний.

В большинстве случаев такую эквивалентность определяют по «энергетическим эквивалентам», приравнивая между собой эквивалентные дозы излучений при натуральных и лабораторных испытаниях.

Эквивалентная доза:

$$D_{\text{экв}} = D_k k_r k_u,$$

где D – поглощенная доза; k_k – коэффициент распределения, учитывающий линейное преобразование энергии; k_p – коэффициент распределения, определяемый степенью неравномерности поглощения энергии веществом; $k_{ин}$ – коэффициент интенсивности излучения, зависящий от плотности энергии излучения. Эти коэффициенты обычно приводятся в соответствующих методиках испытаний.

Для проведения лабораторных испытаний в качестве источника заряженных частиц могут использоваться две группы установок:

- источники со статическим пучком, у которых пучок заряженных частиц не меняет своей интенсивности, формы и пространственного расположения в течение всего времени облучения; такие источники называют ускорителями;
- источники с управляемым пучком, у которых в процессе облучения пучок может перемещаться по поверхности изделия, изменять свою форму и интенсивность; такие источники называют ионными источниками.

Обычно методика испытаний на воздействие ионизирующих излучений содержит ряд специфических разделов.

1. Монтаж ЭС для проведения испытаний:

- изделия крепятся так, чтобы обеспечивался отвод избыточного тепла и статического электричества;
- для проведения испытания изделия помещают в камеру, обеспечивающую необходимую радиационную защиту;
- подача питательных и сигнальных напряжений подается по возможности наиболее короткими проводами, имеющими заземленное экранирование.

2. Контроль реакции ЭС на радиационное воздействие. В этом разделе описываются какие и когда параметры ЭС необходимо измерять при проведении испытаний. При выборе параметров нужно учитывать:

- влияние излучения на электрофизические свойства материалов и элементов ЭС;
- необходимость дистанционного измерения параметров ЭС при проведении испытания.

Выбранные параметры измеряются до и после испытаний, а также во время воздействия.

3. Измерение параметров испытательных воздействий. Основными параметрами испытательных воздействий являются температуры окружающей среды и ЭС, а также значения параметров потоков частиц.

4. Требования к пучку заряженных частиц:

- пучок должен быть выведен из камеры в атмосферу;
- пучок должен иметь размеры не менее 50 мм в диаметре и хорошую равномерность по сечению, что при необходимости может достигаться сканированием пучка по поверхности ЭС;
- пучок должен равномерно облучать весь объем. Для этого энергия частиц выбирается такой, чтобы их пробег был примерно 2.5 раза больше эквивалентной толщины испытуемого ЭС;
- плотность потока и время воздействия пучка на ЭС должны быть такими, чтобы по результатам испытания можно было судить о работоспособности ЭС при эксплуатации.

5. Работы, выполняемые при подготовке, проведении и после завершения испытаний.

- при проведении испытаний необходимо подготовить ЭС и смонтировать его согласно приведенным выше правилам, рассчитать режимы воздействий и температурные условия;
- в процессе проведения испытаний необходимо следить за устойчивостью работы ускорителя (источника ионов) и тепловым режимом объекта испытаний;
- после завершения испытаний необходимо принять следующие меры:
 - снять статическое напряжение с ЭС;
 - выдержка объекта испытания до окончательного «высвечивания» или перекладка его в специальный контейнер для захоронения.

16.2 Испытания на надежность

Надежностью принято называть свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих работоспособность ЭС во время эксплуатации, хранения, транспортировки.

Надежность характеризуется показателями надежности, которые бывают:

- единичными (гамма-процентный ресурс, интенсивность отказов и т.д.);
- комплексными (безотказность, долговечность и т.п.).

Испытания на надежность позволяют определить показатели надежности ЭС в заданных условиях. Показатели надежности необходимы:

- для установления соответствия вновь разработанных ЭС требованию ТЗ;
- для оценки эффективности применения схемных и конструктивно-технологических решений при модернизации ЭС;
- для выявления недостатков производства, снижающих надежность ЭС.

Поэтому испытания на надежность проводятся как комплекс мероприятий по определению показателей надежности на этапах проектирования и производства с целью контроля надежности разрабатываемых и выпускаемых ЭС, а также с целью определения эффективности совершенствования ЭС и производства для повышения надежности изделий.

По назначению испытания на надежность могут быть:

- определительными;
- контрольными;

Группа определительных испытаний подразделяется на испытания по определению:

- запасов надежности;
- параметров безотказности;
- сохраняемости;
- ремонтпригодности;
- долговечности.

Контрольные испытания на надежность проводят для получения одной из указанных характеристик – надежности, по которой оценивают уровень качества изделия.

Испытания на надежность имеют общие и частные особенности, отличающие их от других видов испытаний. Общие особенности состоят в том, что:

- испытания являются, как правило, выборочными;

- характеризуются большим объемом испытаний.

Рассмотрим общие особенности испытаний на надежность.

Первая особенность относится к выбору объекта испытаний. Выборочный метод позволяет судить о характеристиках всей партии ЭС по характеристикам выборки, взятой из этой партии. Основное требование к выборке состоит в том, что ЭС, входящие в выборку, должны в полной мере отражать характер и структуру партии, т.е. выборка должна быть представительной.

Выборки различаются по ряду признаков:

1. По способу образования:

- повторные, которые образуются путем извлечения ЭС из партии с последующим их возвращением обратно после определения параметра качества;

- бесповторные – это выборки, при которых извлеченные ЭС не возвращаются в партию. Это гарантирует невозможность попадания в выборку одного и того же изделия.

2. По преднамеренности отбора:

- преднамеренные – это выборки ЭС по определенному признаку;

- случайные выборки образуются, если при отборе для каждого ЭС обеспечивается равная вероятность быть отобранным.

3. По отношению ко времени образования:

- единовременные выборки образуются из партии ЭС после их изготовления, независимо от того, в какой момент времени было изготовлено ЭС;

- текущие выборки состоят из ЭС, последовательно изготовленных за определенный промежуток времени.

Партия ЭС характеризуется следующими параметрами:

- Q – вероятность нахождения в партии изделия, не удовлетворяющего заданным критериям качества.

$$Q=D/N,$$

где D – число дефектных изделий, N – общее число изделий;

- p – вероятность нахождения в партии бездефектного изделия

$$p=(N-D)/N=1-Q;$$

- $M(\chi)$ – среднее значение фиксируемого параметра качества ЭС из всех параметров ЭС партии.

Параметр качества χ в партии изделий распределяется по одному из известных статических законов распределения. Наиболее часто – это закон Гаусса. В этом случае параметры партии изделий оцениваются характеристикой рассеивания параметра χ стандартным отклонением σ .

Вторая общая особенность испытаний на надежность – большой объем испытаний. Он является следствием статистического подхода к описанию закономерностей, проявляющихся при рассматриваемых испытаниях, т.к основными характеристиками надежности ЭС являются статистические: вероятность безотказной работы в течение заданного времени, вероятность пребывания ЭС в рабочем состоянии и т.д.

Для сокращения объема испытаний при сохранении требуемого уровня достоверности и получения достаточно узкого доверительного интервала оценки параметра надежности, применяют специальные методы планирования испытаний. Это методы:

- последовательных испытаний, в том числе усеченный метод однократной выборки;
- оценки по доверительным интервалам.

ЛЕКЦИЯ 17

17.1 Статистическая обработка данных измерений

Для последующего анализа и подготовки заключения по результатам испытания проводится статистическая обработка данных измерений значений параметров ЭС. Достоверность полученных выводов зависит от погрешности измерений каждого параметра, объема исходного статического материала и качества его обработки. Математическая обработка наблюдений предусматривает применение методов теории вероятности и математической статистики для выводов об истинных значениях искомых величин. Дело в том, что мы измеряем параметры ЭС при помощи средств измерений, которые обладают определенной погрешностью. Эта погрешность может привести к тому, что годное изделие мы посчитаем бракованным (риск изготовителя), а бракованное – годным (риск заказчика).

На рис 17.1 изображены распределения значения параметра годности ЭС при условии пренебрежимо малой погрешности измерения.

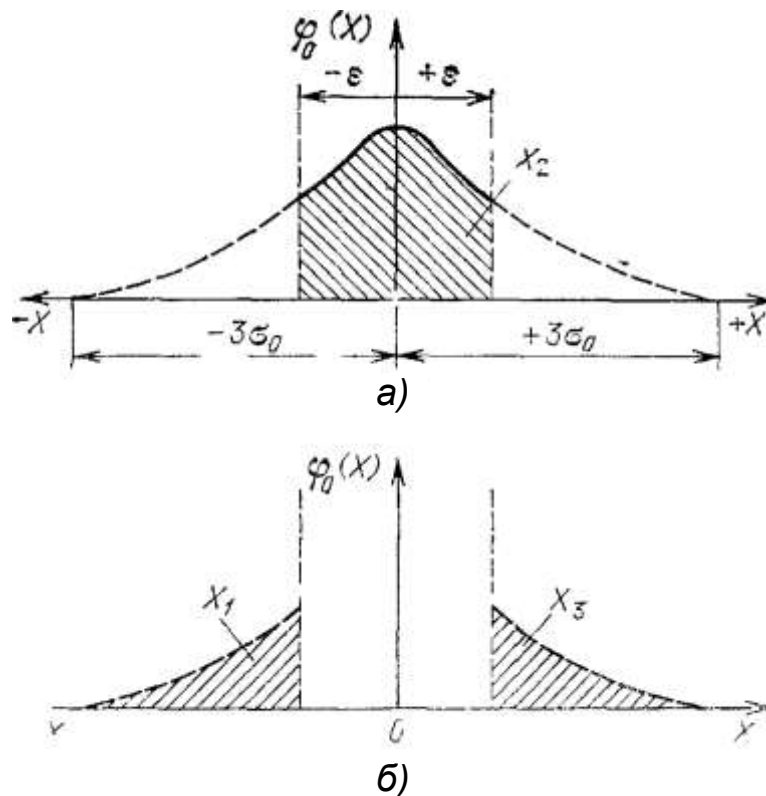


Рисунок 17.1

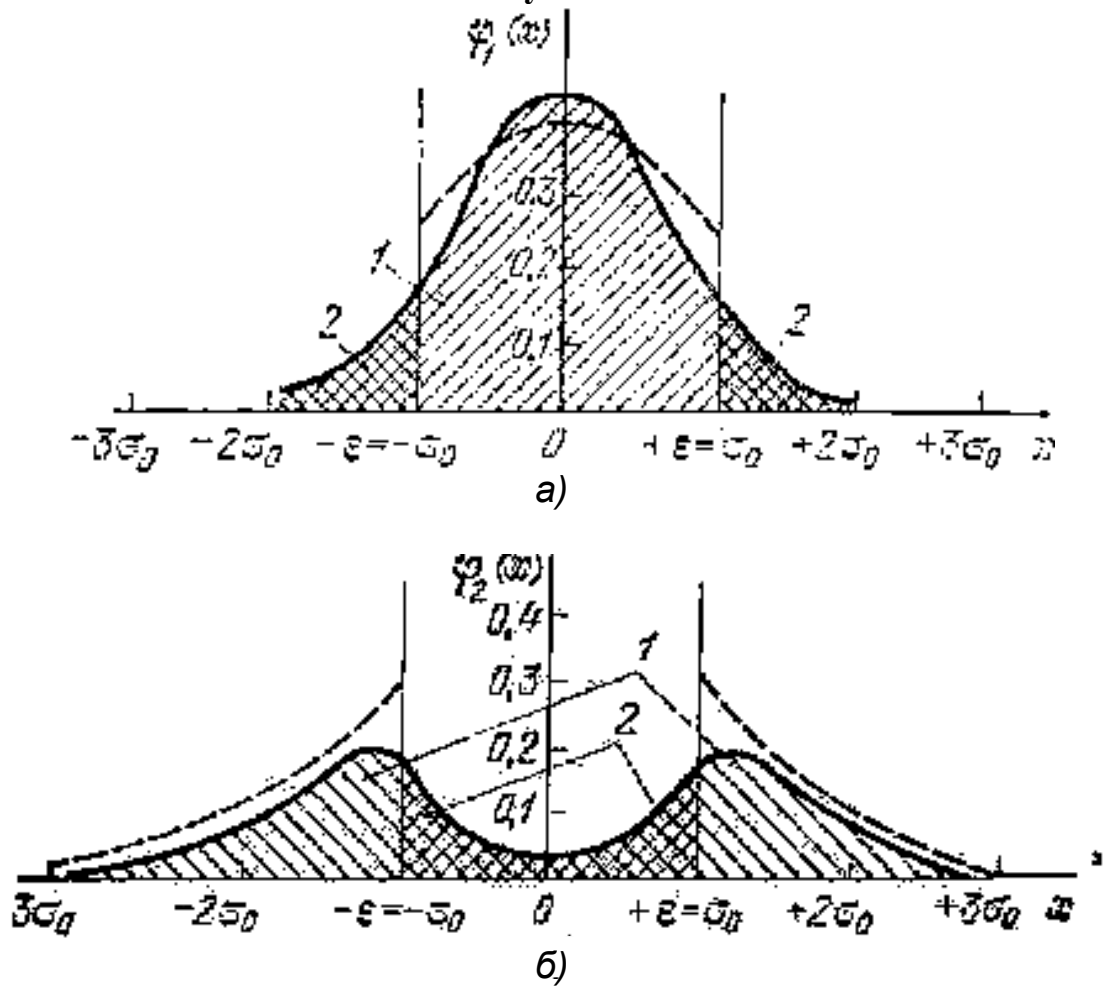


Рисунок 17.2

На рис 17.2 изображен случай распределений параметров (X) ЭС после разбраковки при наличии существенной систематической погрешности (Y). А именно, при $\sigma_m/\sigma_0=1/4$; $-\epsilon=-\sigma_0$ $+\epsilon=\sigma_0$, где σ_m – среднее квадратичное отклонение погрешностей метрики при гауссовском их распределении $\varphi_m(Y)$; σ_0 – среднее квадратичное отклонение параметров ЭС при гауссовском их распределении $\varphi_0(X)$.

Важным вопросом обработки результатов испытаний является выбор методов обработки экспериментальных данных. Из-за большой стоимости испытаний необходим выбор методов, позволяющих оперировать малыми выборками. Они должны предусматривать проведение вычислений на ЭВМ. Поскольку боль-

большинство данных по испытаниям ЭС являются случайными величинами, их обработка осуществляется статистическим методом.

В случае гауссовского распределения можно ограничиваться вычислением только основных параметров случайной величины:

- ее среднего значения;
- дисперсии;
- доверительных интервалов.

При статической обработке результатов испытаний необходимо оценить ошибку измерения и исключить ее из дальнейшего рассмотрения.

При проведении измерений параметров ЭС иногда встречаются резко отклоняющиеся значения параметров (выбросы). Эти выбросы могут быть следствием:

- случайных ошибок измерений;
- начавшейся деградации ЭС.

Существует несколько статических критериев, устанавливающих пределы для исключения резко выделяющихся значений случайных величин. Если изменение контролируемого параметра подчиняется гауссовскому закону распределения, наиболее распространенным является критерий Диксона.

Однако на практике случайная величина не всегда подчиняется гауссовскому закону или закон распределения ее вообще не известен. В этом случае резко выделяющиеся результаты испытаний исключаются при помощи критерия Ирвина.

Результаты испытаний принято представлять либо в табличной, либо в графической форме. В графической форме наиболее распространенными графиками являются:

- полигоны (дискретные изменения значения параметров);
- гистограммы (интервальные изменения значения параметров);
- кумуляты (интегральная кривая);
- огивы (обратная кривая (ось x и y поменяны местами)).

17.2 Автоматизация испытаний

Постоянное увеличение функциональной сложности и интеграции, широкое внедрение цифровых методов обработки и пе-

редачи информации и микропроцессорных устройств привели к тому, что изменились как объект испытаний (ЭС), так и контрольно-испытательная аппаратура. Одновременно повысились требования к ЭС по стойкости к воздействиям внешних факторов, что вызвало значительное увеличение объема испытаний, привело к увеличению трудоемкости испытаний и парку испытательной техники. По некоторым данным, трудоемкость контрольно-испытательных операций составляет 40–50 % общей трудоемкости изготовления ЭС. Опыт показывает, что объем испытаний за 5 лет возрастает в среднем в 2–2.5 раза. Время, трудоемкость и, соответственно, стоимость проведения испытаний возможно снизить при помощи автоматизации испытаний.

Также на трудоемкость испытаний оказывает влияние низкая универсальность испытательного оборудования. Для каждого вида испытания предусмотрено свое оборудование; камера тепла, камера влаги, камера холода, барокамера и т.п. Все это приводит к затратам времени на подготовительно-заключительные операции: изготовление крепежных приспособлений, монтаж изделия на приспособление, установка в камеру и т.д.

Создание нового поколения испытательного оборудования основывается на универсальности, позволяющей на одной установке проводить испытания различных видов и в любой последовательности. Алгоритм управления этими установками достаточно сложен, что также требует автоматизации испытаний.

Все операции проведения испытаний можно сгруппировать в четыре группы и рассматривать процесс автоматизации каждой группы.

- К первой группе относятся операции, связанные с измерением испытательных параметров и управлением режимом испытаний.
- Вторая группа операций – это измерение параметров испытываемого ЭС.
- Третья группа связана со сбором и обработкой результатов испытаний.
- Оставшаяся часть операций связана с поддержанием заданной точности и достоверности результатов испытаний.

Первая группа автоматизировалась путем автоматизации испытательного оборудования. Это обеспечило поддержание па-

раметров испытательного режима в определенных пределах, указанных в программе испытаний и ТУ на изделие. При этом показания приборов выводятся на пульт управления испытательной установкой, и при отклонении параметров сверх установленных пределов подается световой или звуковой сигнал.

Вторая группа автоматизировалась за счет появления установок полуавтоматического и автоматического тестового контроля функционирующих по жесткому алгоритму. Это, в свою очередь, дало возможность увеличить число измеряемых параметров.

Третья группа автоматизировалась с появлением ЭВМ и специальных программ, позволяющих собирать, обрабатывать и хранить результаты испытаний.

Развитие автоматизации испытаний привело к созданию комплексной высокоэффективной автоматизированной системы испытаний (АСИ) ЭС.

Под АСИ следует понимать программно-аппаратный комплекс на базе средств испытательной, измерительной и вычислительной техники, предназначенный для выполнения комплексных испытаний ЭС. Создание АСИ позволяет:

- сократить трудоемкость испытаний;
- повысить точность и достоверность испытаний;
- сократить персонал для проведения испытаний;
- повысить эффективность разработок ЭС и уменьшить затраты на разработку;
- сократить срок испытаний образцов новых ЭС;
- повысить оперативность в получении, обработке и использовании информации о надежности ЭС.

АСИ в процессе своей работы выполняет ряд функций:

- управляющая – управление режимами испытаний;
- информационная – сбор и обработка информации испытаний;
- вспомогательная – самотестирование.

Перечисленные функции АСИ могут выполняться:

- непрерывно;
- дискретно.

По принципу централизации АСИ можно разделить на:

- централизованные;

- децентрализованные.

Централизованные АСИ осуществляют прием информации и управление несколькими объектами с помощью центрального блока. Подобные системы имеют ряд недостатков:

- недостаточную гибкость автоматической перестройки и различные режимы и объекты испытаний;
- невозможность увеличения измерительных каналов;
- недостаточный объем памяти, который не позволяет накапливать большие объемы экспериментальной информации и т.п.

Децентрализованные АСИ лишены этих недостатков. При этой организации каждое из устройств программного управления решает определенные задачи, что обеспечивает:

- более полную и равномерную загрузку устройств разных уровней;
- повышение производительности;
- надежности;
- гибкости в перестройке на другие режимы.

Возможности современной вычислительной техники позволяют объединить децентрализованные АСИ в более высокие иерархические уровни организации службы испытаний – испытательный центр и испытательную станцию.

Основные задачи, решаемые в испытательных центрах:

- предоставление предприятием технической базы, позволяющей проводить различные виды испытаний изделий в комплексе;
- проведение граничных и ресурсных испытаний, направленных на выявление конструктивно-технологических запасов;
- накопление, обобщение и анализ результатов испытаний для реализации мероприятий по увеличению качества изделий и совершенствованию методов проведения испытаний;
- разработка нового испытательного оборудования.

ЛЕКЦИЯ 18

18.1 Критерии оценки эффективности АСИ

Все АСИ предназначены для автоматизации процесса проведения испытаний. Но не во всех случаях оправдано применение АСИ; для оценки эффективности АСИ применяется ряд критериев:

- достоверность;
- надежность;
- степень автоматизации;
- степень универсальности;
- быстрдействие;
- вид сигналов испытываемых ЭС(цифровые, аналоговые, цифроаналоговые);
- способ контроля (статический, динамический, функциональный);
- степень централизации;
- производительность;
- стоимость одного испытания.

Самым важным параметром, характеризующим эффективность АСИ, является *достоверность* – количественная оценка объективного свойства АСИ распознавать вид технического состояния испытываемого ЭС. Оценка достоверности АСИ проводят расчетным путем.

Вторым по важности критерием эффективности АСИ является надежность.

Уровень надежности АСИ определяется:

- безотказностью;
- долговечностью;
- ремонтпригодностью

и зависит от следующих основных факторов:

- надежности используемого технического и программного обеспечения;
- содержания и структуры реализуемых системой алгоритмов управления;
- рационального распределения задач, решаемых АСИ;
- уровня квалификации персонала;

- режимов и параметров технической эксплуатации АСИ.

18.2 Требования к обеспечению автоматизированной системы испытаний

Автоматизированная система испытания (АСИ) состоит из звеньев, объединенных общей целевой функцией и обеспечивающих ее функционирование. Каждое звено АСИ представляет собой элемент обеспечения. Любой иерархический уровень АСИ имеет структуру обеспечения, состоящую из следующих видов:

- технического;
- математического;
- программного;
- информационного;
- лингвистического;
- организационного;
- методического;
- метрологического.

Для функционирования АСИ необходима совокупность перечисленных видов обеспечения. При этом самые большие затраты (денежные и временные) идут на программное и математическое обеспечение АСИ (80%–90% общей стоимости системы).

Техническое обеспечение – совокупность взаимодействующих и объединенных в одно целое устройств:

- получения;
- ввода;
- подготовки;
- обработки;
- хранения;
- регистрации;
- вывода;
- отображения;
- использования;
- передачи информации;
- и средств реализации управляющих воздействий АСИ.

Математическое обеспечение включает в себя:

- методы моделирования;
- математические модели системы;
- математические модели испытываемых ЭС;

- алгоритмы функционирования АСИ;
- решение отдельных задач испытаний.

Программное обеспечение – программы, необходимые для реализации всех функций АСИ.

Информационное обеспечение это нормативно-справочная документация, включающая в себя:

- описание стандартных испытательных процедур;
- описание типовых управляющих решений;
- примеры форм представления данных и документов.

Лингвистическое обеспечение включает в себя:

- тезаурусы;
- языки описания и манипулирования данными;
- языки управления процессами испытаний и программирования.

Организационное обеспечение – совокупность правил и предписаний, устанавливающих структуру организации, проводящей испытания, функции и взаимодействие персонала, обслуживающего АСИ.

Методическое обеспечение – документы, в которых содержатся:

- состав АСИ;
- правила отбора и эксплуатации компонентов АСИ;
- последовательности операций, реализующих типовые процедуры контроля и испытаний;
- инструкции по работе и обслуживанию оборудования.

Метрологическое обеспечение АСИ состоит из метрологических средств и инструкций по их применению.

18.3 Техническое обеспечение

Поскольку состав технических средств АСИ определяет и другие средства системы, то вначале рассмотрим технические средства. АСИ строятся на базе современных вычислительных средств и мультипроцессорных комплексов, которые сочетают быстроедействие специализированных управляющих процессоров с универсальностью ЭВМ общего назначения.

Технические средства АСИ должны содержать:

- мини- и микро ЭВМ;

- накопители информации;
- устройства ввода-вывода;
- устройства документирования;
- устройства оперативного взаимодействия;
- интерфейсы;
- АЦП;
- первичные датчики;
- контрольно-измерительные и метрологические средства;
- испытательное оборудование;
- контактно-коммутирующие устройства.

Технические средства АСИ обычно выполнены в виде модулей с одинаковым интерфейсом ввода-вывода, что позволяет оперативно перестраивать АСИ на различные виды испытаний.

Все модули можно разбить на:

- управляющие;
- интерфейсные;
- обрабатывающие.

Основным требованием к техническому обеспечению АСИ является то, что комплекс технических средств АСИ должен быть достаточным для реализации всех функций, установленных в ТУ на АСИ.

Одним из важнейших элементов технического обеспечения АСИ является испытательное оборудование, которое бывает:

- специализированное;
- универсальное.

Специализированное оборудование разрабатывается под конкретные виды ЭС. Основными преимуществами специализированного оборудования является:

- высокая эффективность;
- высокая степень автоматизации и, как следствие, повышение производительности труда;
- сокращение численности обслуживающего персонала.

Однако увеличение номенклатуры ЭС вызывает увеличение объема работ по созданию специализированного оборудования.

Этого позволяет избежать применение универсального испытательного оборудования.

18.4 Математическое обеспечение

Основу математического обеспечения АСИ, без которой невозможна формализация процессов, протекающих в АСИ, составляют:

- математические модели;
- критерии;
- алгоритмы и методы управления испытаниями и контрольно-измерительной аппаратурой.

Любая математическая модель характеризуется точностью, которая зависит от объема и тщательности исследования объектов и процессов, от описания их взаимодействия. В нашем случае разработка математической модели техпроцесса испытаний, достоверно описывающей реальный процесс, затруднена из-за наличия большого количества внешних и внутренних возмущающих случайных факторов. Поэтому математические модели процессов испытаний создаются с допущениями различной степени. Но в большинстве случаев и не требуется создания точной математической модели, так как это приводит к неоправданным материальным и временным затратам.

Математическое обеспечение используют разработчики при создании АСИ. В процессе функционирования АСИ математическое обеспечение реализуется в программном обеспечении.

18.5 Программное обеспечение

По составу и структуре программное обеспечение должно быть достаточным для выполнения всех функций, операций и действий АСИ.

Программное обеспечение подразделяется на:

- общее;
- специальное.

Общее программное обеспечение АСИ представляет собой совокупность программ, предназначенных для организации эффективного вычислительного процесса и рациональной загрузки центрального процессора и других устройств ЭВМ. В основном

оно облегчает разработку специального программного обеспечения АСИ.

Общее программное обеспечение включает в себя:

- программы ОС;
- обслуживающие и стандартные программы.

Специальное программное обеспечение АСИ представляет собой совокупность программ, разрабатываемых при создании АСИ для реализации ее функций. Эта совокупность программ называется *пакетом прикладных программ*.

В базовый пакет прикладных программ АСИ входят:

- монитор программ контроля и испытаний;
- программы самодиагностики;
- программы калибровки и метрологической аттестации датчиков;
- программы обработки данных;
- операционные программы, реализующие функции АСИ;
- программы оптимизации.

Все это программное обеспечение необходимо для эффективного функционирования АСИ в автоматическом режиме.

ЛЕКЦИЯ 19

19.1 Информационное обеспечение

Разработка программного обеспечения ведется с учетом характеристик информации, хранимой и обрабатываемой в системе, а также с точки зрения оперирования данными.

Всю информацию, которой оперирует АСИ, можно разделить на три большие группы:

- входная;
- выходная;
- оперативная.

Входная информация – информация, поступающая в АСИ в виде документов, сигналов с датчиков и с устройств ввода, с внешних запоминающих устройств.

Выходная информация – информация, выдаваемая АСИ на объект испытаний, персоналу и другим системам в виде документов, изображений, данных и сигналов.

Оперативная информация – это сообщения и полученные АСИ данные, отражающие состояние системы и объекта испытаний на данный момент времени.

Вся информация в упорядоченном виде хранится в информационной базе АСИ.

Информационное обеспечение АСИ должно удовлетворять следующим принципам:

- стремлению к достижению оптимального функционирования АСИ;
- типизации решений;
- возможности изменения АСИ при сохранении удобства и скорости доступа к данным.

19.2 Лингвистическое обеспечение

Лингвистическое обеспечение включает в себя языки описания данных и процессов, происходящих в АСИ.

Для описания данных и процессов используются языки высокого уровня – проблемно-ориентированные и специально разработанные языки, описывающие алгоритмы испытаний и контроля.

19.3 Аккредитация испытательных лабораторий

Аккредитация испытательных лабораторий является официальным признанием их правомочности проводить испытания конкретных ЭС, в частности на воздействие определенных внешних факторов, в соответствии с требованиями НТД.

При аккредитации должны быть признаны техническая компетентность и независимость испытательных лабораторий от изготовителей.

Аккредитованная испытательная лаборатория должна располагать:

- материально-технической базой, обеспечивающей испытания закрепленных за ней изделий;
- высококвалифицированным обслуживающим персоналом.

Аккредитация испытательных лабораторий проводится экспертами государственной стандартизации согласно требованиям ИСО/МЭК.

Испытания, проводимые в аккредитованных испытательных лабораториях, должны производиться:

- аттестованными методами;
- на аттестованном испытательном оборудовании;
- при помощи аттестованных средств измерений.

19.4 Аттестация методов испытаний

Методы испытаний должны отвечать ряду требований:

- Методы испытаний должны соответствовать стандарту на изделие, быть объективными, четко сформулированными и точными.
- При разработке методов испытаний необходимо учитывать условия их проведения и спецификуверяемых ЭС.

- Используемые методы должны основываться на применении имеющегося оборудования и обеспечивать высокопроизводительные результаты.

Методы испытаний должны быть аттестованы с применением конкретных средств испытаний в конкретных условиях испытаний.

Аттестация методов испытаний проводится по программе, предусматривающей расчетное и экспериментальное определение значений показателей результатов испытаний, таких, как:

- точность;
- достоверность;
- воспроизводимость.

Аттестацию методов испытаний проводят испытательные организации при участии их метрологических служб. По результатам испытаний оформляются соответствующие документы.

19.5 Аттестация испытательного оборудования

Аттестация испытательного оборудования является важнейшим элементом обеспечения единства испытаний. Аттестация испытательного оборудования предусматривает определение его:

- нормативных точностных характеристик,
- соответствия требованиям НТД;
- установления пригодности к эксплуатации.

В определение точностных характеристик входит следующее:

- точность задания и воспроизведения значений параметров испытательных режимов;
- стабильность их значений во времени;
- неоднородность параметров в пространстве;
- время достижения заданного режима.

Испытательное оборудование должно подвергаться:

- первичной;
- периодической;
- и в случае необходимости, внеочередной аттестации.

Испытательное оборудование, признанное по результатам аттестации непригодным или не прошедшее аттестацию в установленный срок, запрещается к применению.

19.6 Поверка средств измерений и первичных измерительных преобразователей

Используемые в процессе проведения испытаний СИ и ПИП подразделяются на:

- имеющие самостоятельное применение;
- встроенные в ИО.

Встроенные СИ и ПИП поверяются совместно с аттестацией ИО. Имеющие самостоятельное применение СИ и ПИП поверяются независимо от ИО в соответствии с требованиями НТР для подтверждения их метрологических и технических характеристик и установления пригодности к применению.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА «МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

Глава 1. Теоретический материал

Раздел 1.1 Климатические зоны

Под климатом понимается характерная для данной области (региона) совокупность типичных изменений атмосферных процессов, обусловливаемых географическими координатами, уровнем солнечной радиации, строением земной поверхности, вертикальным теплообменом и другими метеорологическими факторами за длительный (20...30 лет) период.

Основными климатическими факторами окружающей среды являются:

- солнечная радиация;
- температура и относительная влажность воздушной среды, ее плотность;
- движение и наличие в ней твердых и газообразных примесей: снег, иней, туман, роса, плесневые грибки и т.п.

Нормальными климатическими условиями являются:

- температура $+25 \pm 10$ °С;
- относительная влажность 45...80%;
- атмосферное давление $(8.3...10.6) \cdot 10^4$ Па (630...800 мм рт. ст.).

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является одним из основных климатических факторов. Уровень солнечной радиации и свойства окружающей среды в данном конкретном месте земной поверхности определяют температуру окружающей среды. Для ЭС с естественным воздушным охлаждением за температуру окружающей среды принимается температура воздуха на уровне расположения ЭС и на расстоянии, на котором влиянием теплоты, выделяемой ЭС, можно пренебречь. Для ЭС с принудительным охлаждением за температуру внешней

среды принимают температуру охлаждающего реагента на входе системы охлаждения.

В результате остывания атмосферного давления ниже точки росы образуются жидкие (дождь, туман, роса) и твердые (снег, град, иней) осадки.

В результате горизонтального движения воздуха образуется ветер. Его характеризуют направлением, силой в баллах или скоростью м/с. Как правило, атмосферный воздух содержит различные примеси в виде газа и взвешенных частиц. Частицы диаметром до 75 мкм классифицируются как пыль. Для характеристики условий эксплуатации изделий определены три уровня концентрации пыли: 0.18; 1; 2 г/м³. Из газообразных примесей в воздухе наиболее опасны для ЭС сернистый газ и хлористые соли. По их содержанию в воздухе установлены три типа атмосферы:

- атмосфера сельской местности (содержание сернистого газа не более 0.02 мг/м³);
- атмосфера промышленного района (содержание сернистого газа 0.02...2 мг/м³, хлористые соли не более 0.3 мг/м² в сутки);
- морская атмосфера (хлористые соли 2...2000 мг/м² в сутки).

В воздухе содержатся различные бактерии, грибковые споры. Плесневелые грибки, попадая на ЭС, способны разлагать высокомолекулярные соединения как естественного, так и искусственного происхождения.

По установленному климатическому районированию весь земной шар делится на семь зон, климат которых определяется как:

- очень холодный;
- холодный;
- умеренный;
- тропический влажный;
- тропический сухой;
- умеренно холодный морской;
- тропический морской.

Очень холодный регион расположен в Антарктиде. Средняя минимальная температура – 60 °С. Характерная особенность

зоны – сочетание низкой температуры и сильного ветра. Число дней в году со скоростью ветра более 25 м/с достигает 70.

Холодный регион включает в себя большую часть России и Канады, Аляску и Гренландию. Средняя минимальная температура воздуха -45°C , относительная влажность воздуха, при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ и выше, редко превышает 80%. Особенностью зоны является высокая прозрачность атмосферы, что способствует интенсивной ионизации воздуха под воздействием солнечной радиации и, как следствие, накоплению на поверхности ЭС высокого уровня статического электричества. Обычными явлениями для холодного региона являются:

- обледенение;
- иней;
- ветер с мелкой снежной пылью.

В умеренном регионе расположены часть территории России, большая часть Европы, США, прибрежные территории Австралии, Южной Африки и Южной Америки. Средняя максимальная температура в регионе $+40^{\circ}\text{C}$, а средняя минимальная – 45°C . Особенностью региона является наибольшее по сравнению с другими регионами число переходов температуры через точку замерзания воды, что способствует возникновению значительных напряжений в ограниченных объемных конструкциях, содержащих влагу, и может приводить к их разрушению.

Влажный тропический регион расположен вблизи экватора. К нему относятся большая часть Центральной и Южной Америки, средняя часть Африки, Юг Индии, часть Юго-восточной Азии, Индонезия. Средняя минимальная температура составляет $+1^{\circ}\text{C}$, а максимальная $+45^{\circ}\text{C}$. Особенностью региона является обилие ливневых дождей, высокая относительная влажность воздуха, значительная конденсация влаги в виде росы. Сочетание высоких температур и влажности делает климат данного региона очень коррозионно-агрессивным. Климатические условия региона весьма благоприятны для существования и интенсивного размножения плесневых грибов.

Регион с сухим тропическим климатом включает в себя северную часть Африки, центральную Австралию, Аравийский полуостров, часть Северной Америки. Средняя максимальная

температура $+40^{\circ}\text{C}$ при низкой относительной влажности воздуха. Особенность региона – интенсивное солнечное излучение. Воздушная среда характеризуется высоким содержанием пыли и песка, способных оказывать абразивное и химическое воздействие на ЭС вследствие наличия агрессивных примесей на поверхности песчинок.

Умеренно холодный морской регион включает моря, океаны и прибрежные районы, расположенные севернее 30° северной широты и южнее 30° южной широты. Средняя минимальная температура -30°C , а максимальная $+40^{\circ}\text{C}$. Особенность климата данной зоны – высокая коррозионная активность из-за постоянной высокой влажности (выше 80%) и значительной концентрации хлоридов в атмосфере.

Тропический морской регион включает в себя все остальные моря, океаны и прибрежные районы, что не вошли в умеренный морской регион. Средняя минимальная температура -1°C , а максимальная $+45^{\circ}\text{C}$. Особенность климата данной зоны – высокая коррозионная активность из-за постоянной высокой влажности (выше 80%) и значительной концентрации хлоридов в атмосфере.

Данное разнообразие климатов предполагает проведение испытаний с учетом места эксплуатации ЭС, т.е. планы проведения испытаний составляются с учетом региона использования данного ЭС.

Раздел 1.2 Механические испытания

Механические испытания ЭС позволяют выявить наличие дефектов, определить динамические характеристики испытываемых изделий, провести оценку влияния конструктивных факторов на параметры качества ЭС, проверить соответствие параметров ЭС при механическом воздействии требованиям ТУ.

Разработаны следующие виды механических испытаний:

- на обнаружение резонансных частот;
- на виброустойчивость;
- на вибропрочность;
- на ударную прочность;

- на ударную устойчивость;
- на воздействие линейных (центробежных) нагрузок (ускорений);
- на воздействие акустических шумов.

Исследования различных видов механических испытаний показали, что наибольшее влияние на ЭС оказывает сочетание вибрационных нагрузок и одиночных ударов, остальные виды механических воздействий являются дополнительными.

Число видов испытаний и их последовательность зависят от:

- назначения ЭС;
- условий эксплуатации ЭС;
- типа производства.

К примеру, в программу испытаний опытных образцов следует включить все виды испытаний, а для образцов из серийного производства – только испытания, предусмотренные в НТД или ТУ.

1.2.1 Испытания на воздействие вибрации

Методы испытаний на воздействие вибрации

При испытаниях на воздействие вибрации наибольшее распространение получили следующие методы проведения испытаний:

- метод фиксированной частоты синусоидальной вибрации;
- метод качающейся частоты;
- метод широкополосной случайной вибрации;
- метод узкополосной случайной вибрации.

Иногда в лабораторных условиях проводят испытания на воздействия реальной вибрации.

Испытания методом фиксированных частот синусоидальной вибрации проводят путем установки заданных значений параметров вибрации на фиксированной частоте. Испытания могут осуществляться:

- на одной фиксированной частоте;
- на ряде частот механического резонанса;
- на ряде частот, заданных в рабочем диапазоне.

Испытания на одной фиксированной частоте $f(i)$ в течение заданного времени t_n с определенной амплитудой ускорения (перемещения) малоэффективны. Т.к. вероятность того, что изделие в процессе эксплуатации или транспортировки подвергается воздействию вибрации на одной частоте, очень мала. Данный вид испытаний проводится в процессе производства для выявления некачественных паянных и резьбовых соединений, а также других дефектов производства.

Испытания методом фиксированных частот на частотах механического резонанса испытуемого изделия требуют предварительного определения этих частот. Испытуемое изделие последовательно подвергают воздействию вибрации на частотах резонанса, выдерживая его в каждом режиме в течение некоторого времени. *Достоинством* этого метода является то, что испытания проводятся на частотах, наиболее опасных для испытуемого ЭС. *Недостатком* является сложность автоматизации процесса испытаний, поскольку в процессе испытаний резонансные частоты могут несколько изменяться.

Испытания на ряде заданных в рабочем диапазоне частот целесообразно проводить для снятия характеристик изделия по точкам диапазона частот эксплуатации. Теоретически интервал между двумя соседними частотами выбирается не больше ширины резонансной характеристики конструктивного элемента. Это делается для того, чтобы не пропустить возможное возникновение резонанса. В случае обнаружения резонансных частот или частот, на которых наблюдается ухудшение контролируемых параметров изделия, рекомендуется дополнительная выдержка на этой частоте для уточнения и выявления причин несоответствия.

Испытания методом качающейся частоты осуществляются непрерывным изменением частоты вибрации в сторону ее увеличения, а затем уменьшения. Основными параметрами, характеризующими метод качающейся частоты, являются:

- время одного цикла качания $T_{ц}$;
- скорость качания v_k ;
- продолжительность испытаний T_n .

Важным показателем метода качающейся частоты является скорость качения частоты. Исходя из того, что диапазон высоких

частот вибрации (1000...5000 Гц.) значительно шире диапазона низких частот вибрации (20...1000 Гц.), следует, что при качании частоты с постоянной скоростью в пределах рабочего диапазона область низких частот будет проходить за меньшее время, чем высокочастотная область. В результате обнаружение резонансов в низких частотах будет затруднено. Поэтому обычно изменение частоты в пределах диапазона рабочих частот осуществляется по экспоненциальному закону.

$$F_e = f_l \cdot e^{kt}, \quad (1)$$

где f_e – частота вибрации в момент времени t , Гц; f_l – нижняя частота рабочего диапазона, Гц; k – показатель степени, характеризующий скорость качания.

При выборе большой скорости качания оценка свойств испытуемого ЭС будет проводиться с большими погрешностями, т.к. амплитуда резонансных колебаний изделия достигнет меньших значений, чем при малой скорости, а также возможны пропуски (не обнаружения) резонансов. При выборе малой скорости качания длительное прохождение диапазона рабочих частот может вызвать повреждение испытуемого изделия на резонансных частотах и увеличение длительности испытаний.

Испытания методом широкополосной случайной вибрации. В этом случае реализуется одновременное возбуждение всех резонансов испытуемого изделия, что позволяет выявить их совместное влияние. Ужесточение условий испытаний за счет одновременного возбуждения резонансных частот сокращает время проведения испытаний, по сравнению с методом качающейся частоты.

Степень жесткости испытаний методом широкополосной случайной вибрации определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазоном частот;
- спектральной плотностью ускорения;
- продолжительностью испытания.

Степени жесткости приведены в таблице 1.

Таблица 1

Степень жесткости	Среднее квадратичное значение ускорения, Гц ⁻¹	Спектральная плотность ускорения, g ²
1	100	0,05
2	200	0,05
3	200	0,1
4	200	0,2

Примечание: продолжительность воздействия вибрации 34 с; диапазон частот 20–2000 Гц.

К *достоинствам* этого метода можно отнести:

- близость к механическим воздействиям при реальной эксплуатации;
- возможность выявления всех эффектов механического воздействия различных элементов конструкции;
- наименьшую продолжительность проведения испытаний.

К *недостаткам* относятся высокая стоимость и сложность испытуемого оборудования.

Испытания методом узкополосной случайной вибрации.

Этот метод еще называется методом случайной вибрации со сканированием полосы частот. Случайная вибрация в этом случае возбуждается в узкой полосе частот, центральная частота которой по экспоненциальному закону медленно сканирует по диапазону частот в процессе испытания.

В этом методе реализовано компромиссное решение методов испытаний широкополосным сигналом и синусоидальным сигналом с качающейся частотой.

К *недостаткам* метода можно отнести то, что, по сравнению с методом широкополосной случайной вибрации, в этом методе исключается взаимодействие механических резонансов и увеличивается время испытаний.

Испытания на обнаружение резонансных частот

Этот вид испытаний проводят при разработке новых конструкций ЭС. Он позволяет определить резонансные частоты изделий целиком или их отдельных деталей и узлов в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений.

При совпадении резонансной частоты с частотой возмущающей силы наступает явление резонанса, которое сопровождается значительным увеличением амплитуды колебания и изменением фазы колебаний на 90^0 . Обычно ЭС в силу своей конструкции имеют несколько резонансных частот. Но для проведения испытаний наибольший интерес представляют низшие резонансные частоты, так как на них возникают наибольшие напряжения и происходят наибольшие деформации.

При определении резонансных частот ЭС в выключенном состоянии подвергается воздействию гармонической вибрации при пониженных ускорениях (1–5) g или перемещениях не более 1.5 мм в диапазоне частот от $0.2f_{ор} \dots 1.5f_{ор}$, где $f_{ор}$ – расчетная резонансная частота ЭС. Если $f_{ор}$ не известна, то ЭС может подвергаться вибрации в диапазоне частот от 40...20 000 Гц. Конкретный диапазон частот устанавливается в ПИ. Поиск резонансных частот производят путем плавного изменения частоты при поддержании постоянной амплитуды.

По результатам испытаний оцениваются механические свойства испытываемых изделий по величине коэффициента конструктивного запаса k_3 :

$$k_3 = f_{н.р} / f_{в.в}, \quad (2)$$

где $f_{н.р}$ – наименьшая резонансная частота испытуемого изделия;
 $f_{в.в}$ – верхняя частота рабочего диапазона, заданная в НТД.

Из формулы видно: чем выше $f_{н.р}$, тем выше вибропрочность при прочих равных условиях.

По результатам этих испытаний в зависимости от $f_{н.р}$ получают также информацию по выбору других видов испытаний.

Если $f_{н.р} > 1000$ Гц, то исключают испытания на ударопрочность.

Если $f_{н.р} > 2000$ Гц, то исключают испытания на удароустойчивость.

Если $f_{н.р} > 2 \cdot f_{в.в}$, то исключают испытания на виброустойчивость.

Испытания на виброустойчивость

Испытания на виброустойчивость проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах, указанных в ТУ, в условиях воздействия вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений. Испытания проводят под электрической нагрузкой, контролируя в процессе проведения испытаний параметры изделия. Для проверки виброустойчивости выбирают такие параметры, по которым можно судить о виброустойчивости изделия. Например: уровень виброшумов, искажение выходного сигнала, нестабильность контактного сопротивления и т.п.

В зависимости от степени жесткости испытания характеризуются сочетанием следующих параметров:

- диапазона частот;
- амплитуды перемещений;
- ускорения;
- частоты перехода (частота, при которой происходит изменение режима испытаний).

Всего существует 14 степеней жесткости проведения испытаний на виброустойчивость, они приведены в таблице 2.

Таблица 2

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещений, мм	Частота перехода, Гц	Ускорение, м/с ²
1	10–35	-	-	5
2	10–55	-	-	10
3	10–55	0.5	32	20
4	10–55	0.5	-	-
5	10–80	0.5	32	20
6	10–80	0.5	50	50
7	10–150	0.5	50	50
8	10–200	0.5	50	50
9	10–500	0.5	50	50
10	10–500	1	50	100
11	10–2000	1	50	100
12	10–2000	2	50	200

13	10–2000	4	50	400
14	10–5000	4	50	400

Продолжительность испытаний в каждом конкретном случае определяется продолжительностью проверки работоспособности испытуемого ЭС.

Испытания на вибропрочность

Испытания на вибропрочность проводят с целью проверки способности ЭС противостоять разрушающему воздействию вибрации и сохранять свои параметры после воздействия вибрации в пределах значений, указанных в ТУ на изделие.

Испытание ЭС на виброустойчивость и вибропрочность можно проводить любым из перечисленных ранее способов, основным условием, позволяющим выбрать наиболее рациональный метод, является знание резонансных частот ЭС.

Если резонансная частота превышает верхнюю частоту диапазона более чем в 1.5 раза, применяют метод испытаний на фиксированной частоте. Если резонансные частоты не установлены, применяется метод качающейся частоты. Если испытуемое изделие имеет не менее 4-х резонансов в заданном диапазоне частот, применяются методы случайной вибрации.

Испытательное оборудование, применяемое при испытаниях ЭС на воздействие вибрации

Для проведения испытаний на воздействие вибраций применяются вибрационные установки (вибростенды).

Наибольшее распространение в настоящее время получили *электродинамические* вибрационные стенды, использующие электродинамический принцип создания возмущающей силы. Такие вибрационные установки обладают широким диапазоном рабочих частот вибрации, линейностью преобразований сигнала, простотой управления, устойчивостью и надежностью в работе, имеют элементы автоматики.

Средства измерений параметров вибрации. Вибропреобразователи

Источником сигнала измерительной информации о значениях вибрации является *виброизмерительный преобразователь* (ВИП). В современных ВИП в основном используются принципы электрических измерений неэлектрических величин, когда механические колебания преобразуются в электрические напряжения.

1.2.2 Испытания на ударную прочность и устойчивость

Основная задача испытаний на ударные нагрузки – проверка выполнять свои функции во время ударного воздействия и после него. Различают два вида испытаний:

- испытания на ударную прочность;
- испытания на ударную устойчивость.

Испытания на ударную прочность проводят с целью проверки способности ЭС противостоять разрушающему действию механических ударов, сохранять свои параметры в пределах, указанных в НТД на ЭС.

Испытания на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции в условиях действия механических ударов.

Методы проведения испытаний на ударную прочность и устойчивость

При проведении испытаний на ударную прочность испытываемое ЭС подвергают воздействию многократных и/или одиночных ударов.

Многократные удары

Любое изделие можно представить в виде совокупности отдельных конструктивных элементов, в некоторых из которых в результате воздействия удара возникает резонанс. Реакция такого элемента на воздействие ударных механических нагрузок зависит от собственной низшей резонансной частоты.

Значения резонансных частот могут быть определены в процессе испытаний на воздействие вибрации или взяты из справочных данных.

Частота повторения ударных импульсов обычно берется от 1 до 3 в секунду.

Форма импульса должна быть близка к полусинусоиде.

Выбор степени жесткости зависит от:

- назначения ЭС;
- места установки ЭС;
- условий эксплуатации ЭС.

Возможные степени жесткости приведены в таблице 3.

Таблица 3

Степень жесткости	Пиковое ускорение, м/с ²	Длительность импульса, мс	Изменение скорости, м/с
1	100	16	1
2	150	6	0,6
3	250	6	0,9
4	400	6	1,5
5	1000	2	1,2

Рекомендуется осуществлять 1000 ± 10 и 4000 ± 10 ударов.

Так как во время транспортировки удары могут действовать с разных сторон, необходимо обеспечивать воздействие ударов поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений по отношению к изделию. При этом общее количество ударов должно распределяться поровну между направлениями, при которых проводят испытания. Изделия, имеющие ось симметрии, испытывают в двух взаимно перпендикулярных направлениях (по оси симметрии и перпендикулярно ей) при сохранении общего числа ударов. Изделия с известным наиболее опасным направлением воздействия испытывают только в том направлении при сохранении общего числа ударов.

Одиночные удары

Испытания осуществляют путем воздействия механических одиночных ударов одной из рекомендуемых форм. Рекомендуют три формы одиночных ударов:

- пилообразный;
- полусинусоидальный;
- трапецеидальный.

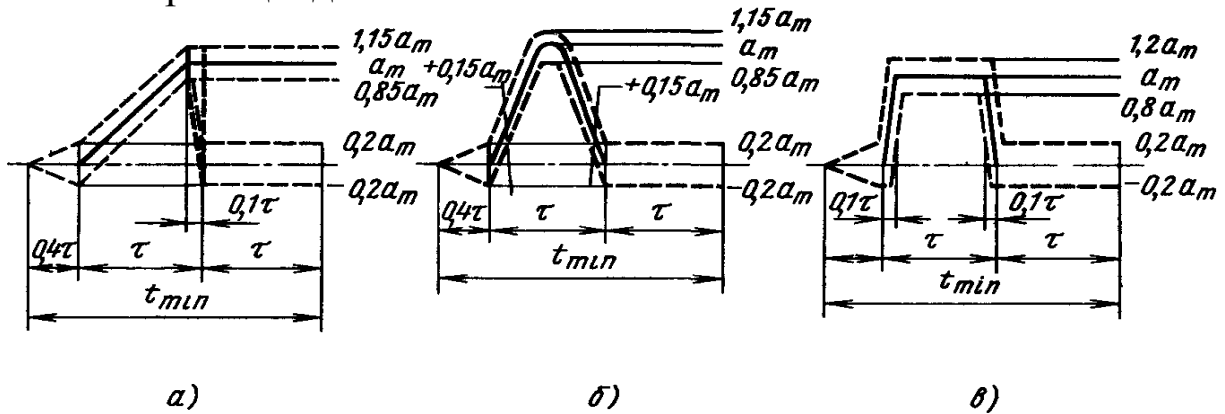


Рисунок 1 – а) пилообразный; б) полусинусоидальный;
в) трапецеидальный

Выбор формы импульса осуществляется с учетом:

- конструкции ЭС;
- целей испытаний;
- места установки ЭС;
- условий транспортировки;
- условий эксплуатации.

Степень жесткости проведения испытаний зависит от:

- максимального ускорения;
- длительности импульса.

Длительность действия ударного ускорения выбирают в зависимости от формы импульса.

При трапецеидальном импульсе расчет длительности производят по формуле:

$$\tau = n \cdot 10^2 / f_n, \quad (3)$$

где n – выбирают в диапазоне 3...100; f_n – низшая резонансная частота изделия.

При пилообразном импульсе длительность выбирают из условия:

$$\tau > 300 / f_n. \quad (4)$$

Значения длительности действия ударного импульса полусинусоидальной формы определяют по той же таблице, что и для многократных ударов.

Частота следования ударов должна обеспечивать возможность контроля проверяемых параметров.

При испытаниях, когда у изделия невозможно выявить плоскости и оси симметрии, его подвергают воздействию трех последовательных ударов в каждом из двух противоположных направлениях (всего 18 ударов). В остальных случаях выбор конкретных направлений выполняется следующим образом:

- при наличии оси симметрии испытания проводят вдоль оси симметрии, в двух противоположных направлениях и в любом направлении, перпендикулярном оси симметрии;
- при наличии одной или нескольких плоскостей симметрии направление воздействия выбирают так, чтобы перпендикулярно к каждой плоскости симметрии испытание проводилось в одном направлении.

Изделия, у которых известно наиболее опасное направление воздействия, испытывают только в этом направлении.

При испытаниях на ударную устойчивость выбирают такие параметры, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости изделия в целом (искажение выходного сигнала, стабильность характеристик и т.п.), а ударную прочность оценивают по целостности конструкции (образование трещин, отсутствие контакта и т.п.).

Изделия считают выдержавшими испытания, если в процессе и (или) после испытаний они удовлетворяют требованиям НТД и ТУ на изделия и ПИ данного вида испытаний.

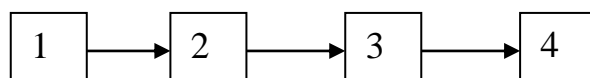
Испытательное оборудование для испытаний на ударную прочность и устойчивость

Создание ударных нагрузок с заданными параметрами для проведения испытаний достигается с помощью ударных установок, в которых воздействие возникает за счет соударения тел.

Средства измерения параметров ударного воздействия

Измерение параметров ударного воздействия чаще всего осуществляется по следующей схеме.

Структурная схема измерения ударного воздействия



1 – измерительный преобразователь; 2 – согласующий усилитель;
3 – фильтр; 4 – регистрирующий прибор

В качестве измерительного преобразователя чаще всего применяют пьезоэлектрические, емкостные, тензометрические датчики. Из них наибольшее распространение получил пьезоэлектрический датчик. Согласующий усилитель служит для согласования большого выходного сопротивления пьезопреобразователя с малым входным сопротивлением регистрирующего прибора. Для надежной регистрации измеряемого ударного импульса, снижения уровня шумов согласующего усилителя в схему включен фильтр с необходимой полосой пропускания. Регистрацию параметров удара осуществляют при помощи осциллографа или аналого-цифровой измерительной техники.

1.2.3 Испытания на воздействия линейных нагрузок

Испытания проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции при линейных нагрузках. Испытания обычно проводят без электрической нагрузки. Это объясняется большими вносимыми погрешностями на контролируемый входной сигнал при передаче его через токосъемник центрифуги. Но если проводят испытания на устойчивость к линейным ускорениям, то проводят испытания ЭС под нагрузкой.

Для проведения испытаний используют центрифуги различных типов. Тип центрифуги в основном зависит от габаритов, массы испытуемого ЭС и от значения линейного ускорения.

Линейное ускорение определяется степенью жесткости проведения испытания. Степень жесткости приведена в таблице 4.

Таблица 4

Степень жесткости	Линейное ускорение, м/с ²	Степень жесткости	Линейное ускорение, м/с ²
1	100	8	20000
2	200	9	50000
3	500	10	100000
4	1000	11	200000
5	2000	12	300000
6	5000	13	500000
7	10000	14	1000000

При испытании до 5000 м/с² продолжительность испытания 3 мин в каждом направлении, а при ускорении свыше 5000 м/с² – 1 мин.

Средства измерений частоты вращения центрифуг

Главным параметром центрифуги и, соответственно, испытания на линейные ускорения является частота вращения центрифуги.

Приборы, применяемые для измерения частоты вращения, называются тахометрическими. Они могут быть контактными и безконтактными.

К контактными относятся:

- тахогенераторы постоянного тока;
- тахогенераторы переменного тока;
- магнитоиндукционные тахометры.

К безконтактными относятся строботахометры.

1.2.4 Испытания на воздействия акустического шума

Акустический шум представляет собой беспорядочные механические колебания, амплитуды и фазы которых изменяются

во времени. Эти колебания распространяются в газообразной, жидкой и твердой средах.

Испытания проводят с целью определения способностей изделий выполнять свои функции, сохраняя свои параметры в пределах норм, указанных в ТУ и стандартах на данное ЭС в условиях воздействия повышенного акустического шума.

Для испытаний изделий на воздействие акустического шума применяют методы:

- воздействия на изделие *случайного акустического шума*;
- воздействия *тона меняющейся частоты*.

Режим испытаний указанных методов устанавливается заданием величины звукового давления для соответствующей степени жесткости.

Степень жесткости	Уровень звукового давления, Дб	
	Акустического шума	Тона меняющейся частоты
1	130	120
2	140	130
3	150	140
4	160	150
5	170	160

Испытания методом случайного акустического шума проводят путем воздействия акустического шума в диапазоне частот 125–10 000 Гц с одновременным воздействием на изделие заданного равномерного звукового давления и определенного спектра частот. Продолжительность воздействия звукового давления должна быть 5 минут, если большее время не требуется для контроля и (или) измерения параметров изделий.

Испытания методом тона меняющейся частоты проводят путем воздействия тоном меняющейся частоты в том же диапазоне частот при плавном изменении по всему диапазону от низшей к высшей и обратно (один цикл). При этом в диапазоне частот 200–1000 Гц уровень звукового давления должен соответствовать указанному в таблице. На частотах ниже 200 и выше 1000 Гц должно быть снижение, равное 6 дб/окт относительно уровня на частоте 1000 Гц. Испытания проводят в течение 30

мин, если большее время не требуется для контроля параметров изделий.

Испытания проводят под электрической нагрузкой. При этом измеряют параметры, по изменению которых можно судить об устойчивости изделий к воздействию акустических шумов. Регистрация проверяемых параметров и их последующее сравнение с первоначальными значениями позволяет оценить результат испытаний. Кроме этого, проводится визуальный осмотр ЭС на выявление механических повреждений.

Испытательное оборудование

Испытание изделий на воздействие акустического шума проводят:

- на открытом стенде с работающим двигателем;
- в закрытых блоках с натуральным источником шума;
- в акустических камерах.

Источником акустического шума является акустический генератор, принцип действия которого основан на преобразовании энергии сжатого воздуха в акустическую энергию. Они бывают двух групп:

- с дискретным спектром частот;
- с непрерывным (широкополосным) спектром частот.

Камеры установок для испытаний на воздействие акустического шума бывают двух типов:

- камеры бегущей волны;
- реверберационные камеры.

В первых – воспроизводится свободное поле шума (без эха). Во вторых – воспроизводится диффузное поле шума, где средняя плотность энергии звуковых колебаний одинакова по всему объему.

Средства измерения акустического шума

Основным средством измерения параметров акустического шума являются измерительные микрофоны. Простейшая схема измерений включает в себя микрофон, предусилитель и индика-

торное устройство. Включение в схему предусилителя обеспечивает согласование импедансов микрофона и индикаторного устройства.

Раздел 1. 3 Климатические испытания

Климатические испытания проводят для проверки работоспособности и (или) сохранения внешнего вида изделий в пределах, установленных в НТД, в условиях и (или) после воздействия климатических факторов.

Требуемая стойкость ЭА к воздействиям климатических факторов закладывается на этапе проектирования и обеспечивается в производстве.

Разработаны следующие виды климатических испытаний:

- температурные испытания;
- испытания на влагоустойчивость;
- испытания на воздействие солнечного излучения;
- испытания на воздействие пыли;
- испытания на воздействие соляного тумана;
- испытания на воздействие пониженного атмосферного давления.

1.3.1 Температурные испытания

Температурные испытания делятся на:

- воздействие повышенной температуры;
- воздействие пониженных температур;
- циклическое воздействие смены температур.

Испытания на воздействие повышенной температуры

Испытания на воздействие повышенной температуры проводят с целью определения способности ЭС сохранять свои параметры и внешний вид в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия верхнего значения температуры.

Различают два метода испытаний ЭС на воздействие повышенной температуры:

- испытание под термической нагрузкой;
- испытание под совмещенной термической и электрической нагрузкой.

Первому методу подвергаются нетеплорассеивающие изделия, температура которых в процессе эксплуатации зависит только от температуры окружающей среды, второму – теплорассеивающие ЭС, которые в рабочем состоянии нагреваются за счет выделяемой мощности под действием электрической нагрузки.

При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают под нормальной или максимальной допустимой для этих ЭС электрической нагрузкой, при значении температуры внешней среды в зависимости от степени жесткости испытаний.

Степени жесткости испытаний на повышенные температуры.

Степень жесткости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура, °С	40	50	70	85	100	125	155	200	250	315

Различают три типа воздействия повышенной температуры:

- непрерывное тепловое воздействие;
- периодическое тепловое воздействие;
- аperiodическое тепловое воздействие.

Непрерывному тепловому воздействию подвергаются изделия, эксплуатирующиеся или хранящиеся в стационарных условиях.

Периодическому тепловому воздействию подвергаются транспортируемые изделия или изделия, эксплуатируемые на открытом воздухе. Такой вид испытаний связан с быстрым изменением условий эксплуатации (взлет и посадка самолета, полевые условия и.д.) Продолжительность нагрева в таких испытаниях зависит от назначения ЭС и его схемно-конструктивного решения и колеблется в диапазоне от 10 мин до 3 часов.

Аperiodическому тепловому воздействию подвергаются изделия, устанавливаемые в ракетах. Резкое изменение температуры может приводить к внезапному возникновению отказов.

Испытания на воздействие пониженных температур

Испытания на воздействие пониженных температур проводят с целью проверки параметров и внешнего вида ЭС в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия низкой температуры окружающей среды.

Изделия помещают в камеру холода, после чего устанавливают нижнее значение температуры в зависимости от степени жесткости.

Степени жесткости испытаний на холодоустойчивость.

Степени жесткости	1	2	3	4
Температура, °С	-10	-25	-45	-60

При испытании изделия для оценки его работоспособности в процессе испытания изделие подвергается воздействию низкой температуры до наступления температурного равновесия, после чего аппаратуру включают и проверяют значения параметров, предусмотренных в НТД. Затем аппаратуру отключают и подвергают воздействию пониженной температуры 2 часа. По завершении указанной выдержки находящаяся в камере аппаратура включается вновь, и после достижения установившегося режима проводится измерение ее параметров.

Испытания на циклическое воздействие смены температур

(Испытания на воздействие изменения температуры)

Испытания на воздействие изменения температуры окружающей среды проводят с целью определения способности ЭС сохранять свой внешний вид и значения параметров в пределах, установленных в ТУ.

Различают три разновидности данного вида испытаний:

- постепенное изменение температуры или циклическое изменение температуры;
- тепловой удар;
- резкое изменение температуры.

Испытание на постепенное изменение температуры проводят в термокамерах тепла и холода. Испытания обычно проводят без электрической нагрузки. При испытаниях тепловыделяющих ЭС не под электрической нагрузкой в камере устанавливают положительную температуру, равную максимальному значению температуры наиболее температурно-напряженного участка ЭС. Особенностью испытаний на постепенное изменение температуры является то, что ЭС подвергается воздействию непрерывно следующих друг за другом циклов (термоциклы) (см. рис. 2).

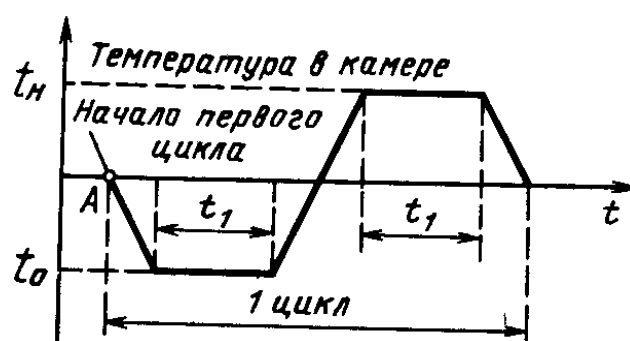


Рисунок 2

Скорость охлаждения или нагрева камеры выбирается из ряда: 1; 3; 5 °С·мин.

Длительность выдержки определяется временем наступления температурного равновесия. Количество циклов обычно равно трем.

Испытанию на тепловой удар подвергают изделия, которые в условиях эксплуатации испытывают быстрые изменения температуры. Испытания на тепловой удар проводят с целью определения электрических характеристик изделий и их механической прочности при экстремальных температурных воздействиях. Особенностью испытаний на тепловой удар является быстрое изменение температуры окружающей среды, осуществляемое либо переносом ЭС из камеры тепла в камеру холода и обратно, либо применением специальных камер (см. рис. 3).

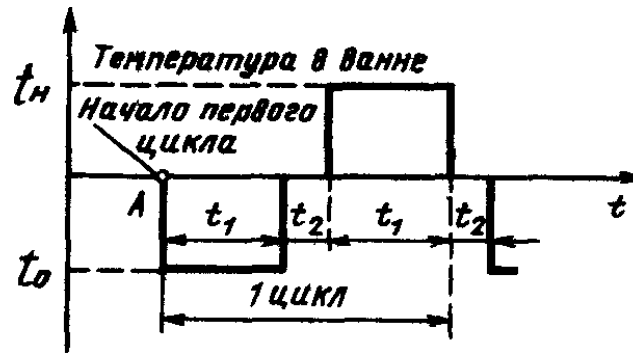


Рисунок 3

Как правило, испытания проводят без электрической нагрузки. Длительность выдержки определяется временем наступления температурного равновесия. Количество циклов обычно равно 3...5.

Испытание на резкое изменение температур. Некоторые изделия требуют в качестве термоносителя жидкости, позволяющей оказать более сильное воздействие на изделие, чем при использовании воздуха для передачи температуры. При испытании используют две ванны с жидкостями, имеющими пониженную и повышенную температуры, соответствующие испытательным режимам (см. рис. 3).

Средства измерения температуры воздуха в камерах

Температуру измеряют с помощью термоизмерительных преобразователей (датчиков), которые получили название термометры. Термометры предназначены для выработки сигнала в форме, удобной для восприятия наблюдателем, автоматической обработки, передачи и использования в автоматических системах управления.

1.3.2 Испытания на влагустойчивость

Различают два вида испытаний на влагустойчивость:

- длительное;
- кратковременное.

Длительное проводится с целью определения способности изделия сохранять свои параметры в условиях и после длительного воздействия влажности. *Кратковременное* проводится с це-

лю оперативного выявления грубых технологических дефектов и дефектов, которые могли возникнуть в предшествующих испытаниях.

Оба эти вида испытаний могут проводиться в следующих режимах:

- циклическом (с конденсацией влаги);
- непрерывном (без конденсации влаги).

Вид испытания а также степень жесткости зависят от условий эксплуатации.

Степень жесткости при испытании на влагоустойчивость

Степень жесткости	Относительная влажность		Продолжительность периода, мес.
	Верхнее значение	Среднемесячные значения в наиболее влажный и теплый период	
1	80% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги.	65% при 20°	12
2,3	98% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	80% при 20°	2,6
4	100% при 25° и более низких температурах с конденсацией влаги	80% при 20°	6
5	100% при 25° и более низких температурах с конденсацией влаги	90% при 20°	12
6	98% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 20°	12
7,8	98% при 35° и более низких температурах без конденсации	80% при 27°	3,12
9	100% при 35° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 27°	12
10	98% при 35° и более низких температурах без конденсации	90% при 27°	12

11	98% при 35° и более низких температурах без конденсации	90% при 27°	4
12	100% при 25° и более низких температурах с конденсацией влаги	90% при 20°	6
13	98% при 25° и более низких температурах без конденсации влаги	90% при 20°	6

Циклический режим испытаний характеризуется воздействием повышенной влажности при циклическом изменении температуры воздуха в камере. В результате создаются условия для конденсации влаги на наружных поверхностях изделий и последующего ее испарения, что способствует интенсивному развитию процессов коррозии. Также сконденсированная влага может проникнуть внутрь изделия через различные микроканалы в сварных и паяных швах.

Циклические испытания на влагоустойчивость делятся на три подвида:

- длительные,
- ускоренные,
- кратковременные.

В случае длительного и ускоренного испытания на влагоустойчивость при циклическом режиме общая продолжительность испытания зависит от степени жесткости.

Продолжительность испытаний на влагоустойчивость, сут.

Температура воздуха, °С	Степень жесткости				
	Длительное испытание			Ускоренное испытание	
	3, 4, 6, 12, 13	5, 6, 8, 11	9, 10	5, 6, 8, 11	9, 10
40	4	9	21	-	-
55	-	-	-	4	9

В условиях кратковременных испытаний на влагоустойчивость при циклическом режиме изделия подвергаются воздействию 2 или шести циклов, продолжительность каждого из которых составляет 24 часа. Число циклов устанавливается в ТУ в за-

висимости от конструкции и назначения изделия. Каждый цикл состоит из этапов, указанных на рис. 9.1.

Повышение температуры должно быть достаточно быстрым, чтобы обеспечить конденсацию влаги на поверхности ЭС.

В *непрерывном* режиме испытаний не предусматривается конденсации влаги на изделии, поэтому непрерывные испытания проводят при постоянных значениях температуры. Различают два подрежима испытаний:

- длительный;
- ускоренный.

Время выдержки ЭС в камере определяется в зависимости от степени жесткости.

Длительность испытаний на влагоустойчивость при непрерывном режиме испытаний, сут.

Характер испытаний	Длительные испытания для степеней жесткости					Ускоренные испытания для степеней жесткости		
	1	2	3, 4, 7, 8	5, 6, 8, 11	9, 10	3, 4, 7, 13	5, 6, 8, 11	9, 10
Продолжительность испытаний	2	4	10	21	56	4	7	17
Температура °С	25	25	40	40	40	55	55	55

Все виды испытаний на влагоустойчивость проводятся без электрической нагрузки. Испытание под электрической нагрузкой предусматривают в том случае, если в условиях эксплуатации у этих изделий при увлажнении под напряжением возможно появление разрушающих действий электролиза или электрохимической коррозии. В виде нагрузки используется напряжение, обеспечивающее минимальное выделение тепла в испытываемых изделиях, т.к. в противном случае может проявляться процесс подсушивания участка изделия.

Измерение параметров и другие проверки испытуемого ЭС проводят, как правило, в конце испытания без извлечения изделий из камеры влажности.

Оборудование, применяемое при проведении испытаний на влагуустойчивость

Для проведения испытаний ЭС на воздействие влаги применяют камеры тепла и влаги.

Классификация испытательных камер по способу получения влажного воздуха:

- инъекционные;
- неинъекционные;
- за счет распыления нагретой воды;
- за счет введения в камеру паро-воздушной смеси.

Инъекционными называют камеры, повышение влажности в которых создается путем введения (инжектирования) в их рабочий объем влажного воздуха.

Неинъекционными называют камеры, повышение влажности в которых создается за счет испарения влаги с открытой поверхности.

Средства измерения повышенной влажности

Для измерения влажности применяют приборы, называемые *гигрометрами*.

В камерах влажности для измерения и автоматического регулирования влажности воздуха находят наибольшее применение следующие методы:

- психометрический;
- сорбционный.

Психометрический метод основан на определении разности температур, измеренных сухим и мокрым термометром.

Достоинства: высокая точность измерения, небольшая инерционность.

Недостатки: ограниченный диапазон измерения, зависимость результатов измерения от скорости циркуляции воздуха и от атмосферного давления.

Сорбционный метод основан на применении гигроскопических тел, изменяющих свои свойства от количества поглощенной влаги.

В зависимости от материала, использованного для построения влагочувствительного элемента, и параметра, изменяющегося под действием влаги, различают сорбционные гигрометры:

- деформационные;
- электрические
- массовые;
- цветные и т.д.

Наибольшее применение в камерах влажности получили электрические сорбционные гигрометры. В них относительная влажность среды определяет сопротивление гигрометра.

Испытания на воздействия солнечного излучения

Испытания на воздействие солнечного излучения проводят с целью проверки сохранения внешнего вида и параметров изделия после воздействия солнечного излучения. Данному виду испытаний подвергаются ЭС или применяемые в них конструктивные элементы, покрытия, выполненные из органических материалов, которые не подвергались ранее воздействию других видов испытаний.

Так же испытания на воздействие солнечного излучения показывают влияние солнечного излучения на:

- тепловые;
- механические;
- химические;
- электрохимические и др.

явления, происходящие в испытываемых изделиях.

В зависимости от цели испытаний находят применение три способа проведения испытаний.

Метод А применяется, когда основной интерес представляют результаты теплового воздействия. Метод А характеризуется 24-часовым циклом, состоящим из 8-часовой фазы облучения и 16-часовой темновой фазы. За указанный период времени обеспечивается получение изделием облучения, соответствующего наиболее жестким условиям эксплуатации ($8.96 \text{ кВт}\cdot\text{м}^2$). Количество циклов обычно равно 3, но для крупногабаритных изделий требуется увеличить это число (см. рис. 4).

Метод В применяется, когда основной интерес представляют процессы деградации. Метод В характеризуется 24-часовым

циклом, состоящим из 20-часовой фазы облучения и 4-часовой темновой фазы. При этом доза облучения составляет $22.4 \text{ кВт}\cdot\text{м}^2$. Известно, что фотохимические процессы деградации материалов зависят также от влажности окружающей среды, поэтому иногда в начале 20-часовой фазы облучения возможно воздействие влажного тепла (влажность 93% при $T=40$) (см. рис. 4).

Метод С применяется, когда необходимо оценить только фотохимический эффект, а циклические тепловые нагрузки не имеют значения. Метод С характеризуется непрерывным 24-часовым облучением. Данный метод считается упрощенным, и при его применении могут быть не выявлены явления деградации, обусловленные циклическими тепловыми нагрузками (см. рис. 4).

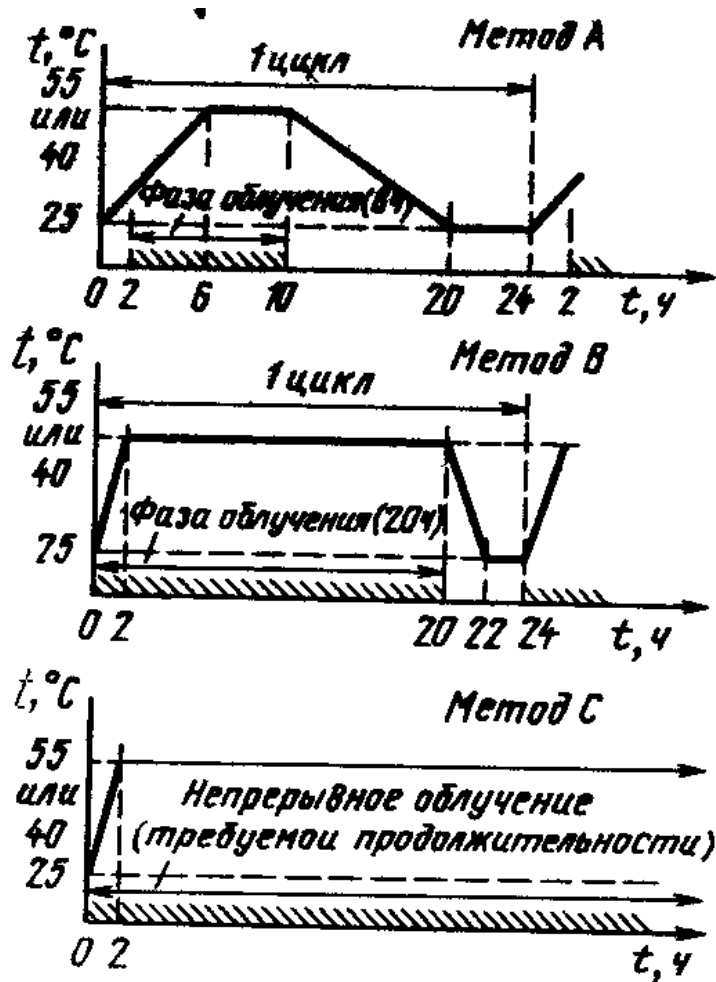


Рисунок 4

Оборудование, применяемое для проведения испытаний

на воздействие солнечного излучения

Для проведения испытаний на воздействие солнечного излучения применяют камеры солнечной радиации, которые обеспечивают необходимую плотность солнечного излучения и могут при необходимости поддерживать заданную температуру и влажность путем введения теплого влажного воздуха непосредственно в объем камеры.

Главным элементом камеры солнечного излучения является источник освещения.

Источники освещения различаются по физической природе излучения, они бывают основаны на:

- нагревании (вольфрамовые лампы);
- на принципе электролюминесценции (газоразрядные трубки);
- на одновременном использовании нагрева и электролюминесценции (ртутно-паровые лампы высокого и сверхвысокого давления).

Средства измерения воздействия солнечного излучения

Для оценки солнечной радиации находят применение ряд приборов:

- *Пиргелиометр* – прибор для измерения прямого солнечного излучения, падающего на поверхность перпендикулярно солнечным лучам.
- *Пиранометр* – прибор для измерения суммарного рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность.
- *Актинометр* – прибор для измерения интенсивности прямого солнечного излучения.

1.3.3 Испытания на воздействие пыли

Испытания на воздействие пыли делятся на:

- динамические;
- статические;
- на пылепроницаемость.

Целью динамических испытаний на воздействие пыли является проверка устойчивости изделия к разрушающему (абразивному) воздействию пыли.

Статические испытания на воздействия пыли проводят с целью проверки способности ЭС работать в среде с повышенной концентрацией пыли.

Основной целью испытаний на пылепроницаемость является выявление способности конструкции изделия препятствовать проникновению пыли внутрь его оболочки.

Параметры испытаний на воздействие пыли приведены в таблице 5.

Таблица 5

Вид воздействия	Состав пылевой смеси, %	Размер частиц пыли, мкм	Продолжительность обдува, ч	Скорость циркуляции воздуха	Концентрация пыли, Г* м-3
Динамическое	Кварцевый песок 70; мел 15; каолин 15	<200	2	10...15	2
Статическое	Кварцевый песок 60; мел 20; каолин 20	<50	2+оседание пыли 2 часа.	0,5...1	2
На проницаемость	Не нормируется 10% флюоресцирующего порошка.	<50	2	0,5...1	Не нормируется

Изделия считают выдержавшими испытания, если в процессе и (или) после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в ТУ. В случае с пылепроницаемостью критерием для отбраковки служит попадание пыли внутрь изделия.

Оборудование, применяемое для проведения испытаний на воздействие пыли

В основном находят применение две конструкции камер:

- камера для испытаний на динамическое воздействие пыли;
- камера на статическое воздействие пыли.

В первой камере создается пылевой поток, который обдувает испытуемое ЭС.

Во второй камере пыль завихряется и поддерживается во взвешенном состоянии за счет постоянной циркуляции воздуха в объеме камеры.

Средства измерения значений параметров пыли

Методы измерения параметров пыли делятся на методы:

- с выделением дисперсной фазы;
- без выделения дисперсной фазы.

Первый метод в зависимости от физических принципов, заложенных в основе, делится на:

- массовый;
- оптический;
- фотоэлектрический и т.д.

Второй метод, позволяющий проводить регистрацию концентрации пыли, основан на фотооптическом принципе, позволяющем оценить светопрозрачность смеси пыль-воздух.

1.3.4 Испытания на воздействие соляного тумана

Этот вид испытаний можно отнести как к климатическим испытаниям, так и к коррозионным. Испытания на воздействие соляного тумана проводят с целью определения коррозионной стойкости ЭС в атмосфере, содержащей водные растворы солей.

Такая атмосфера характерна для умеренного и тропического морского климатического региона.

Испытания могут проводиться одним из следующих методов:

- выдержкой ЭС в соляном тумане с периодическим распылением соляного раствора;
- при непрерывном распылении соляного раствора с последующей выдержкой ЭС в чистой влажной атмосфере при повышенной температуре.

Главным условием при проведении испытаний на воздействие соляного тумана является требование, чтобы соляные брызги из разбрызгивателей, а так же с внутренней поверхности камеры не попадали на поверхность испытуемых ЭС.

При испытании первым методом в камере устанавливают температуру 27 ± 2 °С и подвергают изделие воздействию соляного тумана, получаемого распылением соляного раствора. Продолжительность испытаний должна составлять 2, 7 или 10 суток.

Испытание вторым способом может проводиться в одной камере (если ее конструкция позволяет осуществить заданный режим испытания) или в двух камерах (соляного тумана и влаги). Испытание проводится циклами. Один цикл включает в себя помещение изделия в камеру соляного тумана, установление в ней температуры $15 \dots 35$ °С и воздействие соляного тумана. Через два часа в камере изменяют режим или переносят изделие в камеру влаги; в обоих случаях изделие выдерживают еще 22 часа при температуре 40 ± 2 °С и относительной влажности 95 %. Время переноса не более 5 мин. В процессе испытаний ЭС подвергают воздействию 1; 3 или 6 подобных циклов.

Средства измерения параметров соляного тумана

При испытании на воздействие соляного тумана, который создается распылением соляного раствора, возникает необходимость измерений значений дисперсности, водности, концентрации раствора, а также значения водородного показателя рН.

Водность тумана меряют расходом через сливные коллекторы в камере. Требуемый расход не менее $0.1 \dots 0.3$ мл в час.

Дисперсность тумана определяют методом микрофотографирования. Стекло с трансформаторным маслом помещают в камеру на 30 сек. Потом его фотографируют и считают количество капель, а также определяют их средний размер.

рН измеряют при помощи рН-метров, состоящих из стеклянного индикаторного и хлорсеребряного электродов сравнения, между которыми измеряется разность потенциалов.

1.3.5 Испытания на воздействие пониженного атмосферного давления

Целью испытаний ЭС на воздействие пониженного атмосферного давления является определение их пригодности для

эксплуатации в наземных или авиационных условиях на больших высотах при атмосферных давлениях не ниже 1.33 кПа.

Различают три вида испытаний на воздействие пониженного давления:

- испытания при нормальной температуре;
- испытания при повышенной температуре;
- испытания при пониженной температуре.

Испытаниям на воздействие пониженного давления при нормальной температуре подвергаются тепловыделяющие и нетепловыделяющие ЭС, находящиеся в рабочем состоянии, для которых температурные воздействия не являются критическими, так как не оказывают влияния на их тепловой режим работы.

Испытаниям на воздействие пониженного давления при повышенной или пониженной температуре подвергаются тепловыделяющие и нетепловыделяющие ЭС, для которых температурное воздействие является критическим.

Таблица предпочтительных комбинаций минусовой и плюсовой температуры, атмосферного давления и длительности испытаний

Температура, °С		Атмосферное давление, кПа	Длительность, ч
Пониженная	Повышенная		
55	85,155	4.4	2
55	55, 85, 155	15	2
55	55	30	2
25	55	53,3	2, 16
40	-	53,3	2, 16
-	40	60	2
40	55	70	2, 16

Оборудование, применяемое при проведении испытаний на воздействие пониженного атмосферного давления

Для испытаний на воздействие пониженного атмосферного давления применяют *термобарокамеры*, воспроизводящие пониженное давление при нормальной, повышенной и пониженной температуре.

Различают два типа термобарокамер:

- при наружном расположении термоизоляции;

- при внутреннем расположении термоизоляции.

Средства измерений при испытаниях на воздействие пониженного атмосферного давления

Для измерения давления в термобарокамере используют манометры. Наибольшее распространение получили деформационные манометры с упругим элементом.

Глава 2. Пример решения индивидуального задания

Условия задания

Необходимо выбрать и описать виды и методы испытаний, относящиеся к климатическим и механическим испытаниям, для электронного средства со следующими характеристиками и условиями эксплуатации:

- Климатический регион эксплуатации – умеренный.
- Низшая резонансная частота = 1500 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – авиатехника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Указать тип испытательного оборудования и средств измерения.

Пример решения

1. Анализ условия задачи

Проанализировав условия задачи, выберем следующие виды испытаний, относящиеся к климатическим.

Исходя из характеристики климатического региона (*средняя максимальная температура в регионе +40 °С, а средняя минимальная –45 °С. Особенностью региона является наибольшее по сравнению с другими регионами число переходов температуры через точку замерзания воды, что способствует возникновению значительных напряжений в ограниченных объемных конструкциях, содержащих влагу, и может приводить к их разрушению*) необходимо проводить следующие виды испытаний:

- Испытание на повышенные температуры.
- Испытания на пониженные температуры.
- Испытания на смену температур.
- Испытания на воздействие влаги.

Так как электронное средство (ЭС) эксплуатируется на авиатехнике, необходимо также провести испытание на:

- Пониженное атмосферное давление.

В связи с тем, что корпус покрыт полимерным материалом, необходимо провести испытание на:

- Воздействие солнечного излучения.

Из условия задачи следуют следующие виды механических испытаний:

- Испытания на вибропрочность.
- Испытания на виброустойчивость.
- Испытания на удароустойчивость.

Испытание на ударопрочность исключается, т.к. низшая резонансная частота больше 1000 Гц (см. испытания на обнаружение резонансных частот). В случае когда в задании низшая резонансная частота не определена, необходимо описать испытание на обнаружение резонансных частот и выбрать частоту самостоятельно.

Из условий эксплуатации также следует необходимость провести испытания на воздействие:

- Акустического шума.
- Линейных (центробежных) нагрузок.

2. Климатические испытания.

1. Испытания на повышенные температуры.

Испытания на воздействие повышенной температуры проводят с целью определения способности ЭС сохранять свои параметры и внешний вид в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия верхнего значения температуры.

Т.к. по условию задачи ЭС является теплорассеивающим, то будем проводить испытание под совмещенной термической и электрической нагрузкой.

При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают под нормальной или максимальной допустимой для этих ЭС электрической нагрузкой, при значении температуры внешней среды в зависимости от степени жесткости испытаний.

Степень жесткости испытания на повышенные температуры выбираем, исходя из характеристики климатического региона ($+40^{\circ}\text{C}$), – 1 степень жесткости.

Исходя из условий эксплуатации ЭС на авиатехнике, выбираем метод периодического теплового воздействия.

Для проведения испытаний применяют камеры тепла. Средства измерения – термопреобразователи.

2. Испытания на пониженные температуры.

Испытания на воздействие пониженных температур проводят с целью проверки параметров и внешнего вида ЭС в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия низкой температуры окружающей среды.

Степень жесткости испытания на пониженные температуры выбираем, исходя из характеристики климатического региона (-45°C), – 3 степень жесткости.

При испытании изделия для оценки его работоспособности, в процессе испытания изделие подвергается воздействию низкой температуры до наступления температурного равновесия, после чего аппаратуру включают и проверяют значения параметров, предусмотренных в НТД. Затем аппаратуру отключают и подвергают воздействию пониженной температуры 2 часа. По завершении указанной выдержки находящаяся в камере аппаратура включается вновь, и после достижения установившегося режима проводится измерение ее параметров.

Для проведения испытаний применяют камеры холода. Средства измерения – термопреобразователи.

3. Испытания на циклическое воздействие смены температур.

Испытания на воздействие изменения температуры окружающей среды проводят с целью определения способности ЭС сохранять свой внешний вид и значения параметров в пределах, установленных в ТУ.

Исходя из характеристики климатического региона (особенностью региона является наибольшее по сравнению с другими регионами число переходов температуры через точку замерзания воды, что способствует возникновению значительных напряжений в ограниченных объемных конструкциях, содержащих влагу, и может приводить к их разрушению), проводим испытание методом постепенного изменения температуры.

Испытания обычно проводят без электрической нагрузки. При испытаниях тепловыделяющих ЭС не под электрической нагрузкой в камере устанавливают положительную температуру, равную максимальному значению температуры наиболее температурно-напряженного участка ЭС. Особенностью испытаний на постепенное изменение температуры является то, что ЭС подвергается воздействию непрерывно следующих друг за другом циклов.

Для проведения испытаний применяют камеры тепла и холода. Средства измерения – термопреобразователи.

Так как ЭС эксплуатируется на авиатехнике, необходимо дополнительно провести испытание методом теплового удара.

Испытания на тепловой удар проводят с целью определения электрических характеристик изделий и их механической прочности при экстремальных температурных воздействиях. Особенностью испытаний на тепловой удар является быстрое изменение температуры окружающей среды.

Для проведения испытаний применяют или перенос ЭС из камеры тепла в камеру холода и назад, или специальные камеры. Средства измерения – термопреобразователи.

4. Испытания на воздействие влаги.

Так как для региона характерны частые переходы температуры через 0°C , то для проведения испытания на воздействие влаги применяем метод с конденсацией влаги, т.е. циклический режим испытаний.

Циклический режим испытаний характеризуется воздействием повышенной влажности при циклическом изменении температуры воздуха в камере. В результате создаются условия для конденсации влаги на наружных поверхностях изделий и последующего ее испарения, что способствует интенсивному развитию процессов коррозии. Также сконденсированная влага может проникнуть внутрь изделия через различные микроканалы в сварных и паяных швах.

Исходя из характеристик региона, выбираем 4 степень жесткости.

Для проведения испытаний применяют камеры тепла и влаги. Средства измерения – гигрометры.

5. Испытание на воздействие пониженного давления.

Целью испытаний ЭС на воздействие пониженного атмосферного давления является определение их пригодности для эксплуатации в наземных или авиационных условиях на больших высотах при атмосферных давлениях не ниже 1.33 кПа.

Т.к. по условию задачи ЭС является теплорассеивающим, то будем проводить испытание при повышенной температуре.

Для проведения испытаний применяют термобарокамеры. Средства измерения – манометры.

6. Испытание на воздействие солнечного излучения.

Испытания на воздействие солнечного излучения проводят с целью проверки сохранения внешнего вида и параметров изделия после воздействия солнечного излучения. Данному виду испытаний подвергаются ЭС или применяемые в них конструктивные элементы, покрытия, выполненные из органических материалов, которые не подвергались ранее воздействию других видов испытаний.

Данное ЭС является теплорассеивающим, поэтому необходимо провести испытание методом А, при этом будем проверять

работоспособность ЭС в условиях повышенного теплового воздействия.

Метод А характеризуется 24-часовым циклом, состоящим из 8-часовой фазы облучения и 16-часовой темновой фазы. За указанный период времени обеспечивается получение изделием облучения, соответствующего наиболее жестким условиям эксплуатации ($8.96 \text{ кВт}\cdot\text{м}^2$). Количество циклов обычно равно 3, но для крупногабаритных изделий требуется увеличить это число.

Для проведения испытаний применяют камеры солнечной радиации. Средства измерения – приборы для измерения солнечного излучения: пиргелиометры, пиранометры и актинометры.

3. Механические испытания.

1. Испытания на виборпрочность.

Испытания на виборпрочность проводят с целью проверки способности ЭС противостоять разрушающему воздействию вибрации и сохранять свои параметры после воздействия вибрации в пределах значений, указанных в ТУ на изделие.

Для проведения данного испытания выбираем метод узкополосной случайной вибрации как оптимальный по соотношению адекватности испытаний и цены испытательного оборудования.

Этот метод еще называется методом случайной вибрации со сканированием полосы частот. Случайная вибрация в этом случае возбуждается в узкой полосе частот, центральная частота которой по экспоненциальному закону медленно сканирует по диапазону частот в процессе испытания.

В этом методе реализовано компромиссное решение методов испытаний широкополосным сигналом и синусоидальным сигналом с качающейся частотой.

Степень жесткости выбираем, начиная с 11 (из возможных с 11 по 14).

Испытательное оборудование – вибрационные установки (вибростенды).

Средства измерения – виброизмерительные преобразователи.

2. Испытания на вибоустойчивость.

Испытания на виброустойчивость проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах, указанных в ТУ, в условиях воздействия вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений.

Для проведения данного испытания выбираем метод узкополосной случайной вибрации как оптимальный по соотношению адекватности испытаний и цены испытательного оборудования.

Этот метод еще называется методом случайной вибрации со сканированием полосы частот. Случайная вибрация в этом случае возбуждается в узкой полосе частот, центральная частота которой по экспоненциальному закону медленно сканирует по диапазону частот в процессе испытания.

В этом методе реализовано компромиссное решение методов испытаний широкополосным сигналом и синусоидальным сигналом с качающейся частотой.

Степень жесткости выбираем, начиная с 11 (из возможных с 11 по 14).

Испытательное оборудование – вибрационные установки (вибростенды).

Средства измерения – виброизмерительные преобразователи.

3. Испытание на удароустойчивость.

Испытания на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции в условиях действия механических ударов.

Для проведения испытания выберем метод многократных ударов. Форма ударных импульсов полусинусоидальная. Количество ударов 4000.

Исходя из того, что ЭС имеет ось симметрии, удары направляем в двух взаимно перпендикулярных направлениях (по оси симметрии и перпендикулярно ей).

Испытательное оборудование – ударные установки.

Средства измерения – пьезоэлектрические, емкостные, тензометрические датчики.

4. Испытание на воздействие акустического шума.

Испытания проводят с целью определения способностей изделий выполнять свои функции, сохраняя свои параметры в пределах норм, указанных в ТУ и стандартах на данное ЭС, в условиях воздействия повышенного акустического шума.

Для проведения испытания выберем метод тона меняющейся частоты. Степень жесткости – 3.

Испытания методом тона меняющейся частоты проводят путем воздействия тоном меняющейся частоты в том же диапазоне частот при плавном изменении по всему диапазону от низшей к высшей и обратно (один цикл). При этом в диапазоне частот 200–1000 Гц уровень звукового давления должен соответствовать степени жесткости. На частотах ниже 200 и выше 1000 Гц должно быть снижение, равное 6 дб/окт относительно уровня на частоте 1000 Гц. Испытания проводят в течение 30 мин, если большее время не требуется для контроля параметров изделий.

Испытания проводят под электрической нагрузкой. При этом измеряют параметры, по изменению которых можно судить об устойчивости изделий к воздействию акустических шумов. Регистрация проверяемых параметров и их последующее сравнение с первоначальными значениями позволяет оценить результат испытаний. Кроме этого, проводится визуальный осмотр ЭС на выявление механических повреждений.

Испытательное оборудование – акустические камеры.

Средства измерения – измерительные микрофоны.

5. Испытания на воздействие линейных нагрузок.

Испытания проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции при линейных нагрузках.

Степень жесткости выбираем 9.

Испытательное оборудование – центрифуги.

Средства измерения – тахометры.

Глава 3. Варианты контрольной работы №1

Условия задания

Необходимо выбрать и описать виды и методы испытаний, относящиеся к климатическим и механическим испытаниям, для электронного средства со следующими характеристиками и условиями эксплуатации. Указать тип испытательного оборудования и средств измерения.

Вариант 1

- Климатический регион эксплуатации – очень холодный.
- Низшая резонансная частота – не определена.
- Ось симметрии электронного средства – нет.
- Место эксплуатации – стационарно, на открытом воздухе.
- Электронное средство является не теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Вариант 2

- Климатический регион эксплуатации – холодный.
- Низшая резонансная частота = 750 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – авиатехника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 3

- Климатический регион эксплуатации – умеренный.
- Низшая резонансная частота = 2500 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – определено наиболее опасное направление.
- Место эксплуатации – космическая техника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 4

- Климатический регион эксплуатации – влажный тропический.
- Низшая резонансная частота – больше двух верхних частот рабочего диапазона.
- Ось симметрии электронного средства – нет.
- Место эксплуатации – стационарно, на открытом воздухе.
- Электронное средство является не теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Вариант 5

- Климатический регион эксплуатации – сухой тропический.
- Низшая резонансная частота = 1850 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – стационарно, на открытом воздухе.
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 6

- Климатический регион эксплуатации – умеренный морской.
- Низшая резонансная частота = 500 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – определено наиболее опасное направление.
- Место эксплуатации – космическая техника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является не теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 7

- Климатический регион эксплуатации – тропический морской.
- Низшая резонансная частота – не определена.
- Ось симметрии электронного средства – нет.

- Место эксплуатации – стационарно, на открытом воздухе, в прибрежном районе.
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Вариант 8

- Климатический регион эксплуатации – очень холодный.
- Низшая резонансная частота – больше двух верхних частот рабочего диапазона.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – авиатехника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 9

- Климатический регион эксплуатации – холодный.
- Низшая резонансная частота = 2750 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – определено наиболее опасное направление.
- Место эксплуатации – космическая техника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является не теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Вариант 10

- Климатический регион эксплуатации – умеренный.
- Низшая резонансная частота – не определена.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – стационарно, на открытом воздухе.
- Электронное средство является не теплорассеивающим.

- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 11

- Климатический регион эксплуатации – влажный тропический.
- Низшая резонансная частота = 1350 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – авиатехника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 12

- Климатический регион эксплуатации – сухой тропический.
- Низшая резонансная частота = 750 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – определено наиболее опасное направление.
- Место эксплуатации – космическая техника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является не теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Вариант 13

- Климатический регион эксплуатации – умеренный морской.
- Низшая резонансная частота – не определена.
- Ось симметрии электронного средства – нет
- Место эксплуатации – стационарно, на открытом воздухе, в прибрежном районе.
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

Вариант 14

- Климатический регион эксплуатации – тропический морской.
- Низшая резонансная частота = 2700 Гц.
- Ось симметрии электронного средства – есть.
- Место эксплуатации – авиатехника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является не теплорассеивающим.
- Особые параметры – отсутствуют.

Вариант 15

- Климатический регион эксплуатации – умеренный.
- Низшая резонансная частота – не определена.
- Ось симметрии электронного средства – нет.
- Место эксплуатации – авиатехника (электронное средство расположено так, что на него оказывает влияние внешняя среда, в процессе эксплуатации дополнительного нагрева ЭС не происходит).
- Электронное средство является теплорассеивающим.
- Особые параметры – корпус покрыт полимерным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинский В.Д. и др. Испытания аппаратур и средств измерений на воздействие внешних факторов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1993. – 567 с.: ил.

2. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: Учебное пособие для ВУЗов // Под ред. проф. А.И. Коробова. – М.: Радио и связь, 1987. – 272 с.: ил.

3. Чернышев А.А. Основы конструирования и надежности электронно-вычислительных средств: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Радио и связь, 1998. – 448 с.: ил.

