

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем

М. С. Гурский

***ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ***

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве пособия для специальностей
1-39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»,
1-39 02 02 «Проектирование и производство РЭС»,
1-54 01 04 «Метрологическое обеспечение информационных технологий»*

Минск БГУИР 2014

УДК 621.396.6-021.465(076.5)

ББК 32.844я73

Г95

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра автоматизированных информационных систем Частного
учреждения образования «Минский институт управления»
(протокол №9 от 23.04.13 г.);

директор ООО «Варлаам-МТ», кандидат технических наук
А. Л. Матюшков;

заведующий кафедрой метрологии и стандартизации
учреждения образования «Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники»,
доктор физико-математических наук, профессор А. Л. Гурский

Гурский, М. С.

Г95 Испытания и контроль качества радиоэлектронных средств. лабора-
торный практикум : пособие / М. С. Гурский. – Минск : БГУИР, 2014. –
62 с. : ил.

ISBN 978-985-488-999-3.

Приводится описание шести лабораторных работ по курсу «Испытания и кон-
троль качества РЭС». Четыре работы посвящены изучению методов и методик испыта-
ний РЭС на воздействие климатических и механических нагрузок. Одна работа посвя-
щена схемотехнической оптимизации разрабатываемых конструкций методами гра-
ничных и матричных испытаний и одна работа заключается в изучении методов оценки
качества промышленной продукции.

УДК 621.396.6-021.465(076.5)

ББК 32.844я73

ISBN 978-985-488-999-3

© Гурский М. С., 2014

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2014

Содержание

Лабораторная работа №1. Испытания РЭС на температурные воздействия.....	4
Лабораторная работа №2. Испытания РЭС на воздействие влаги.....	11
Лабораторная работа №3. Испытания РЭС на воздействие ударных нагрузок.....	20
Лабораторная работа №4. Схемотехническая оптимизация проектируемых конструкций РЭС методами граничных и матричных испытаний.....	30
Лабораторная работа №5. Испытания РЭС на воздействие вибрации.....	42
Лабораторная работа №6. Оценка качества промышленной продукции.....	50

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №1

ИСПЫТАНИЯ РЭС НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

1.1 Цель работы

1.1.1 Изучение методов проведения испытаний РЭС на воздействие повышенной температуры.

1.1.2 Ознакомление с принципом действия, устройством испытательного оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры, применяемых при испытании.

1.1.3 Исследование теплоустойчивости (холодоустойчивости) выборки узлов или элементов РЭС.

1.2 Общие сведения об испытаниях на температурные воздействия

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

Различают следующие методы температурных испытаний:

- испытание на воздействие повышенной рабочей (предельной) температуры среды;
- испытание на воздействие пониженной рабочей (предельной) температуры среды;
- испытание на воздействие изменения температуры среды (метод двух камер, метод одной камеры, метод двух жидкостных ванн, комбинированный метод).

Температурным испытаниям РЭС подвергается на стадиях ее разработки (ОКР), при освоении изделий в серийном производстве, а также в самом серийном производстве для отбраковки потенциально ненадежных изделий (технологические испытания) и контроля стабильности производства (периодические).

Периодичность проведения испытаний зависит от индивидуальных свойств изделий, вида производства и объема их выпуска за контролируемый период и, как правило, указывается в ТУ на изделие. Например, при серийном производстве ИС, электрорадиоэлементов и функциональных узлов периодичность испытаний составляет 1–3 месяца, для вновь внедряемых в производство радиоизмерительных приборов – 1–2 года, а при серийном их производстве периодичность может определяться 3–5 годами.

Температурные экстремумы аппаратуры определяются как климатическими, так и внутренними источниками тепла, поэтому при испытаниях необходимо учитывать суммарный эффект от воздействия всех источников тепла. Режимы и условия испытаний устанавливаются программой испытаний (ПИ) и методикой испытаний (МИ) в зависимости от степени жесткости, которая, в свою очередь, оговаривается в ТУ и стандартах на изделие. Виды и значения

климатических факторов внешней среды и их взаимосвязь со степенями жесткости приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Значения воздействующих факторов

Воздействующие факторы		Значения, °С	Значения, К	Степень жесткости
Температура воздуха или другого газа при эксплуатации	Верхнее значение	40	313	I
		45	318	II
		50	323	III
		55	328	IV
		60	333	V
		70	343	VI
		85	358	VII
		100	373	VIII
		125	398	IX
		155	428	X
		200	473	XI
		250	523	XII
		315	588	XIII
		400	673	XIV
		500	773	XV
	Нижнее значение	+1	274	I
		-5	268	II
		-10	263	III
		-25	248	IV
		-30	243	V
-40		233	VI	
-45		228	VII	
-60		213	VIII	
-85		188	IX	
Температура воздуха или другого газа при транспортировании или хранении	Верхнее значение	+50	323	I
		+60	333	II
	Нижнее значение	-50	223	I
		-60	213	II
		-85	188	III

Изделия РЭС могут испытываться на *теплоустойчивость* (*холодоустойчивость*) или на *теплостойкость* (*холодостойкость*). При испытаниях на *стойкость* проверяется способность изделия противостоять разрушающему воздействию фактора и продолжать нормально функционировать после прекращения его действия. По истечении периода испытаний проверяется внешний вид, механические свойства и измеряются электрические параметры аппаратуры. При проверке внешнего вида обращается внимание на изменение цвета, вид защитных покрытий, состояние сопрягаемых деталей. Если после испытаний

указанные выше свойства и параметры удовлетворяют требованиям, установленным в ТУ, ПИ или в МИ, то изделие считается выдержавшим испытание.

Отличие испытаний на стойкость от испытаний на устойчивость заключается в продолжительности и в том, что при испытаниях на стойкость испытываемые образцы, как правило, находятся в нерабочем состоянии. Величина тепловых нагрузок при испытаниях на стойкость обычно больше, чем при испытаниях на устойчивость.

Испытания на устойчивость проводят с целью определения способности изделий РЭС выполнять свои функции, сохранять параметры и внешний вид в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия температуры.

Различают два метода испытаний на воздействие повышенной температуры: испытание под *термической нагрузкой* и испытание под *совмещенной термической и электрической нагрузками*.

Первому методу испытаний подвергаются нетеплорассеивающие изделия, температура которых в процессе эксплуатации зависит только от температуры окружающей среды; второму – теплорассеивающие изделия, которые в рабочем состоянии нагреваются за счет выделяемой мощности под действием электрической нагрузки. При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают при нормальной или максимально допустимой электрической нагрузке, соответствующей верхнему значению температуры внешней среды, устанавливаемой в зависимости от степени жесткости испытаний.

В отечественной практике время испытаний на температурные воздействия определяется временем, необходимым для достижения испытываемым изделием теплового равновесия и временем измерения электрических параметров. В зарубежной практике степень жесткости определяется не только температурой испытаний, но и временем выдержки при заданной температуре и выбирается из ряда 2, 16, 72, 96 ч.

Теплорассеивающая аппаратура считается достигшей теплового равновесия после ее включения, если изменение температуры контролируемых точек не превышает 1 °С в течение 15 мин. Допускается достижение теплового равновесия определять измерением параметров, для которых известна температурная зависимость. Допускается не контролировать температуру частей аппаратуры, определяющих прогрев (охлаждение) по всему объему. В этом случае время выдержки аппаратуры зависит от ее массы, например: 2 ч – при массе аппаратуры не более 2 кг; 6 ч – при массе аппаратуры от 20 до 50 кг; 10 ч – при массе аппаратуры от 100 до 300 кг.

Возможны два способа проведения испытаний теплорассеивающих изделий. При первом способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры воздуха в камере, которая устанавливается равной верхнему значению температуры окружающей среды, указанной в ТУ. При втором способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры участка изделия, который имеет

наибольшую температуру или является наиболее критичным для работоспособности изделия.

Испытание первым способом возможно, когда объем камеры достаточно велик, чтобы имитировать условия свободного обмена воздуха в камере, и отсутствует принудительная циркуляция воздуха или ее охлаждающим действием можно пренебречь, а также в случае, когда температура перегрева участка изделия, определенная в нормальных климатических условиях (вне камеры), не превышает 25 °С, и разность заданной температуры воздуха в камере при испытании и температуры в нормальных климатических условиях не превышает 35 °С. В остальных случаях испытание теплорассеивающих изделий следует проводить вторым способом.

Измерение параметров испытываемых изделий проводят после достижения теплового равновесия без извлечения изделия из камеры. Если измерение параметров без извлечения изделия из камеры технически невозможно, то допускается изъятие изделий из камеры для измерения, однако время измерения параметров не должно превышать 3 мин, если другое время специально не оговорено в ТУ.

Испытание на циклическое воздействие смены температур проводят для определения способности изделий выдерживать изменение температуры внешней среды и сохранять свои параметры после этого воздействия. Общее количество циклов устанавливается ПИ, при этом каждый цикл состоит из двух этапов. Сначала изделие помещают в камеру холода, а затем в камеру тепла, температуры в которых устанавливаются заранее в зависимости от степени жесткости испытаний. При заданных температурах изделие выдерживают в течение времени, необходимого для достижения теплового равновесия. Время переноса изделий из камеры тепла в камеру холода или обратно не должно превышать 5 мин. При этом рекомендуется, чтобы время достижения заданного режима в камерах после загрузки изделия также не превышало этого предела. Во время испытания электрическая нагрузка на изделие не подается, а электрические параметры измеряют до и после испытаний, предварительно выдержав изделие в нормальных климатических условиях.

Термоциклирование является одним из самых жестких видов климатических испытаний и позволяет выявить скрытые конструктивные дефекты и нарушения технологии, допущенные при изготовлении РЭС.

1.3 Испытательное оборудование

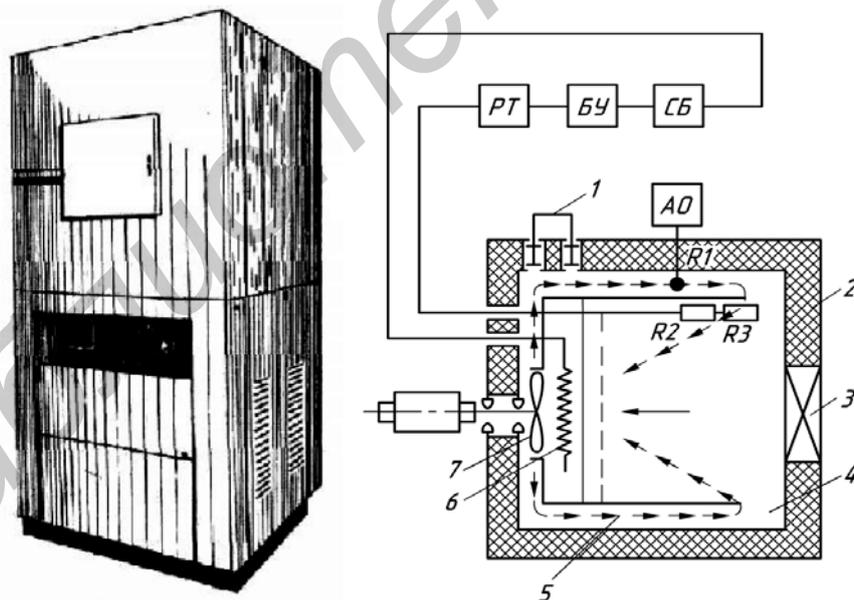
Для проведения испытаний на воздействие температурных нагрузок применяют камеры тепла, холода или комбинированные камеры: термовлагокамеры, термобарокамеры, камеры тепла и холода, камеры термоциклирования.

В испытательных камерах необходимый тепловой режим и равномерность температуры по объему камеры обеспечиваются размещением нагревательных элементов на дне, в стенках и двери камеры или подачей нагретого воздуха (теплоносителя) внутрь металлической рубашки, окружающей полезный объем. Получение низких температур может достигаться двумя способами:

непосредственным охлаждением с помощью охлаждающего агента (жидкого азота, двуокиси углерода, аммиака), а также косвенным охлаждением с помощью компрессорной установки. Косвенный способ охлаждения основан на свойстве жидкости при испарении поглощать тепло из окружающей среды. Техническая реализация данного способа основана на применении компрессионной испарительной системы, в одной части которой газообразный хладагент (фреон) сжимается до давления, обеспечивающего конденсацию, а в другой части – быстро расширяется, обеспечивая охлаждение. Охлаждающий хладагент в установке используется продолжительное время, т. к. он циркулирует в замкнутой системе.

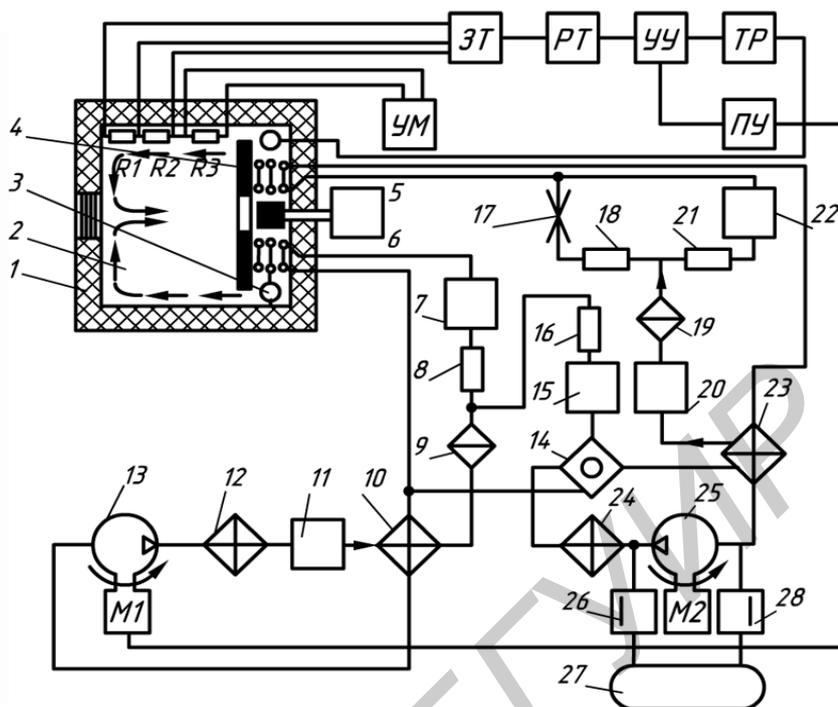
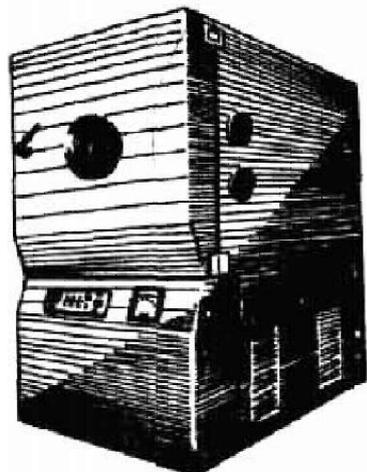
Температурный режим в испытательных камерах поддерживается автоматически включением или отключением части нагревательных элементов или холодильной установки. Для измерения и автоматического регулирования температуры применяют контактные ртутные термометры, электронные мосты, потенциометры, программные устройства, при этом термочувствительными датчиками являются термопары или терморезисторы.

Размещение датчиков контроля температуры при испытании теплорассеивающих изделий должно учитывать возможность исключения взаимного влияния изделий друг на друга с тем, чтобы при установлении температурного режима выходные измерительные приборы показывали истинную температуру. Внешний вид камер и их схематическое изображение, поясняющее принцип работы, показаны на рисунках 1.1 и 1.2.



1 – заслонка; 2 – дверь; 3 – окно; 4 – полезный объем; 5 – воздухопровод; 6 – нагреватель; 7 – вентилятор; РТ – регулятор температуры; БУ – блок управления; СБ – силовой блок; АО – блок аварийного отключения

Рисунок 1.1 – Камера тепла КТ-0,05-315М



- 1 – дверь; 2 – полезный объем; 3 – нагреватель; 4, 6 – испарители; 5 – вентилятор;
 7 – терморегулирующий вентиль; 8 – соленоидный клапан; 9, 20 – фильтры;
 10, 14, 26 – теплообменники; 11, 23 – вентили; 12 – конденсатор теплотехнический;
 13, 22 – компрессоры; 15 – конденсатор-испаритель; 16, 25 – термовентили;
 17, 19, 21, 24 – соленоидные вентили; 18 – дюза; 27 – емкость; (ЗТ – задатчик температуры;
 РТ – регулятор температуры; УУ – устройство управления; ТР – тиристорный регулятор;
 ПУ – пусковое устройство; УМ – уравновешенный мост)

Рисунок 1.2 – Камера тепла и холода КТХ-0,4-65/155

1.4 Задание

1.4.1 Изучите методы и методики проведения испытаний, способы установки изделий в испытательной камере, методы измерения и поддержания температурных режимов при испытании на воздействие тепла (холода).

1.4.2 Ознакомьтесь с назначением, устройством, принципом работы и основными техническими характеристиками испытательного оборудования.

1.4.3 Проведите испытание на теплоустойчивость (холодоустойчивость) выборки узлов РЭС, указанной преподавателем.

1.4.4 Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

1.5 Порядок выполнения работы

1.5.1 Ознакомьтесь с конструкцией и управлением испытательной камеры и измерительной аппаратурой, необходимой для выполнения работы.

1.5.2 Составьте программу испытаний и методику испытаний.

1.5.3 Соедините схему измерения и выполните экспериментальную часть работы.

1.5.4 Подготовьте отчет и защитите работу.

1.6 Содержание отчета

1.6.1 Краткие сведения о видах и методах испытаний на температурные воздействия, применяемом на кафедре испытательном оборудовании и контрольно-измерительной аппаратуре.

1.6.2 Структурная схема измерений, эскиз испытательной установки, поясняющей принцип ее действия.

1.6.3 Программа и методика проведения испытаний на воздействие повышенной температуры.

1.6.4 Таблицы (графики) измерений и расчетов.

1.6.5 Анализ полученных результатов. Выводы.

1.7 Контрольные вопросы

1.7.1 Какое влияние оказывает тепло (холод) на ЭРЭ, конструктивные элементы и РЭС в целом?

1.7.2 Как классифицируются испытания на температурные воздействия?

1.7.3 Какие существуют различия в проведении испытаний тепло выделяющих и нетепло выделяющих изделий?

1.7.4 Как устроены испытательные камеры тепла (холода)?

1.7.5 Какими способами нагревается (охлаждается) испытательная среда? Их достоинства и недостатки.

1.7.6 Чем отличается испытание на теплоустойчивость от испытаний на теплостойкость?

1.7.7 Как измеряется и регулируется температура в испытательных камерах?

Литература

1 Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондрашин ; под ред. В. К. Федорова. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.

2 ГОСТ 20.57.406–81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 192 с.

3 Глудкин, О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС / О. П. Глудкин. – М. : Высш. шк., 1991. – 335 с.

4 Испытание радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / под ред. А. И. Коробова. – М. : Радио и связь, 1987. – 275 с.

Лабораторная работа №2

ИСПЫТАНИЯ РЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЛАГИ

2.1 Цель работы

2.1.1 Изучение методов испытаний РЭС и ее элементов на воздействие влаги.

2.1.2 Ознакомление с принципом действия, устройством испытательного оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры, применяемых при испытании.

2.1.3 Исследование влагоустойчивости (влагостойкости) выборки узлов или элементов РЭС.

2.2 Общие сведения об испытаниях на воздействие повышенной влаги

Характер воздействия влаги на РЭС и ее элементы определяется свойствами воды в жидком, твердом и газообразном состояниях, наличием растворенных примесей и их свойствами. Возможны две основные формы взаимодействия воды с материалами. При первой влага проникает в трещины, зазоры, капилляры или находится на поверхности, удерживаясь на его мелкодисперсных частицах. Это ухудшает физико-химические, электрические и тепловые свойства, ускоряет процессы старения.

При второй форме вода оказывается химически связанной с элементами вещества, что приводит к ускорению процессов коррозии металлов, к гидролизу и способствует распаду некоторых материалов, что нередко приводит к выходу аппаратуры из строя.

При ненадежной влагозащите в различных типах конденсаторов с твердым диэлектриком резко снижается сопротивление изоляции, растут емкость и потери, уменьшается допустимая величина рабочего напряжения. В керамических и герметизированных конденсаторах влага, хотя и не проникает внутрь, но, конденсируясь на поверхности, уменьшает поверхностное сопротивление изоляции. Наличие паров воды в воздухе вызывает изменение его диэлектрической проницаемости, что в свою очередь приводит к изменению емкости конденсаторов с воздушным диэлектриком и нарушению стабильности РЭС. Тем не менее конденсаторы с воздушным диэлектриком и большими зазорами наиболее устойчивы против действия влажной атмосферы. На емкость конденсаторов с воздушным диэлектриком оказывает влияние также коррозия его металлических обкладок при длительном воздействии влаги.

Влага интенсивно влияет на сопротивление резисторов различных типов и конструкций. Периодическое действие влаги на тонкослойные пленочные резисторы приводит к набуханию лакового покрытия и частичным отрывам проводящего слоя от основания, следствием чего является уменьшение сопротивления и поверхностный пробой, уменьшение надежности контактов.

В проволочных резисторах наличие влаги приводит к коррозии и интенсивному окислению проводников и особенно поверхностей подвижных контактов, что способствует уменьшению фактического сечения проводников, росту их сопротивления и снижению надежности контактов.

При воздействии влаги на высокочастотные катушки и дроссели увеличиваются собственные емкости, потери и соответственно снижается добротность. Более чувствительны к действию влаги катушки с каркасами из гигроскопических материалов, намотанные проводами в шелковой и хлопчатобумажной изоляции. Действие влаги снижает добротность таких катушек до 40 %.

В трансформаторах и дросселях низкой частоты происходит не только рост потерь, но и увеличивается местный тепловой перегрев, что ухудшает коэффициент полезного действия трансформатора и изменяет индуктивность дросселя. Влага, проникая через трещины в заливке, уменьшает сопротивление межвитковой и межслойной изоляции, способствует развитию электрохимических процессов между витками, что увеличивает вероятность коротких замыканий.

Различают два вида испытаний на воздействие влаги: *длительные и ускоренные*. Ускоренные испытания проводят с целью оперативного выявления грубых технологических дефектов, которые могут возникнуть из-за нарушения технологии производства изделий и низкого качества применяемых в производстве материалов, а также с целью выявления дефектов, которые могут возникнуть в изделиях при других видах испытаний.

Степени жесткости испытаний в зависимости от условий эксплуатации изделий в течение года приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Степени жесткости испытаний

Степень жесткости	Режим испытаний			Условия эксплуатации		
	Относительная влажность, %	Температура испытаний, °С	Наличие конденсации	Относительная влажность, (среднемесячное значение), %	Температура окруж. среды, °С	Продолжительность воздействия в течение года, мес.
I	80	25	–	65	20	12
II, III	98	25	–	80	20	2
IV	100	25	–	80	20	6
V	100	25	+	90	20	12
VI, VII	98	35	–	80	27	3
VIII	100	35	+	90	27	12

Связь между степенями жесткости по влажности воздуха и климатическим исполнением изделий приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Связь между степенями жесткости и исполнением изделий

Степень жесткости по влажности воздуха	Климатическое исполнение и категория размещения изделий	
	Исполнение	Категория
I	УХЛ, ТС	4; 4.1; 4.2 1; 1.1; 2; 3; 3.1; 4; 4.1; 4.2
II	ТВ, О, В, ТМ, М	4.1
	У, УХЛ	1.1
	М	4.2
III	У, УХЛ	2.1; 3; 3.1
	М	3; 3.1; 4; 4.1
IV	У, УХЛ	1; 2
V	У, УХЛ, ТС, М	5
VI	У, УХЛ, ТС, М	5.1
VII	ТВ, О, В, ТМ, ОМ	4.2
VIII	ТВ, О, В, ТМ, ОМ	4
	ТВ, В, ТМ, ОМ, Т	3; 3.1
IX	ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	1; 2
X	ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	2.1; 5.1
XI	ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	1.1
XII	М	2.1
XIII	М	1; 2

В зависимости от условий эксплуатации, в которых должны работать испытываемые изделия, их подвергают *циклическим* или *непрерывным* испытаниям с *выпадением* и без *выпадения* влаги. Циклическим испытаниям подвергают изделия, предназначенные для работы на открытом воздухе и в открытых производственных помещениях, под навесами, а также в крытых транспортных средствах. Непрерывным испытаниям на воздействие влаги подвергают изделия, предназначенные для работы в помещениях, где нет резких изменений температуры воздуха, солнечной радиации и осадков.

Любому виду испытаний предшествует визуальный осмотр и измерение параметров изделия. Далее изделия помещают в камеру влажности, повышают температуру до 40 ± 2 °С и выдерживают при этой температуре в течение времени, указанного в стандартах, ТУ на изделия или ПИ, но не менее 1ч. Затем в зависимости от заданного режима испытаний устанавливают требуемую температуру и относительную влажность (обычно 95 – 98 %). При непрерывных испытаниях температуру и влажность в камере поддерживают постоянными в течение всего времени испытаний (от 2 до 10 сут. при ускоренном и от 10 до 56 сут. при длительном воздействии).

Циклический режим испытания характеризуется воздействием повышенной влажности при циклическом изменении температуры воздуха в камере. В

результате создаются условия для выпадения влаги на наружных поверхностях изделий (при быстром снижении температуры) и последующего ее испарения, что способствует интенсивному развитию коррозии. В случае длительного испытания на воздействие влаги при циклическом режиме общая продолжительность испытания в зависимости от степени жесткости условий эксплуатации выбирается из ряда 4, 9, 21 или 42 суточных цикла, а при ускоренном испытании – 4 или 9 циклов. Каждый цикл продолжительностью в 24 ч состоит из этапов, показанных на рисунке 2.1. Повышение температуры и влажности при проведении каждого цикла должно быть достаточно быстрым, чтобы обеспечить выпадение росы на изделиях.

В случае длительного испытания на воздействие влаги при циклическом режиме общую продолжительность испытаний в зависимости от степени жесткости выбирают по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Продолжительность испытаний (сут.) на воздействие влаги при циклическом режиме в зависимости от степени жесткости

Температура воздуха, °С	Длительные испытания для степеней жесткости			Ускоренные испытания для степеней жесткости	
	III, IV, XII XIII, VII	V, VI, VIII, XI	IX, X	V, VII, VIII, XI	IX, X
40 ± 2	4	9	21	–	–
55 ± 2	–	–	–	4	9

В непрерывном режиме испытаний не предусматривается конденсация влаги на изделиях, поэтому непрерывное испытание проводят при постоянных значениях температуры и влажности камеры. Изделия помещают в камеру тепла и влаги и выдерживают при температуре, указанной в таблице 2.4. Время выдержки при заданной температуре определяется временем достижения изделиями теплового равновесия. Затем относительную влажность воздуха в камере повышают до 95 ± 3 % и далее поддерживают это значение постоянным в течение всего времени испытаний.

Методики проведения ускоренных испытаний изделий в непрерывном и циклическом режимах аналогичны. По окончании ускоренного режима испытаний изделия выдерживают в нормальных условиях в течение 1...2 ч, в то время как по окончании длительных испытаний – не менее 24 ч.

Испытания изделий под электрической нагрузкой предусматривают в том случае, если в условиях эксплуатации у этих изделий при увлажнении под напряжением возможно проявление разрушающих действий электролиза или электрохимической коррозии.

Таблица 2.4 – Продолжительность испытаний (сут.) на воздействие влаги в непрерывном режиме в зависимости от степени жесткости

Температура воздуха, °С	Длительные испытания для степеней жесткости				Ускоренные испытания для степеней жесткости		
	II	III, IV, VII XII, XIII	V, VI, VIII XI	IX, X	III, IV, VII XII, XIII	V, VI VIII, XI	IX, X
25 ± 2	4	–	–	–	–	–	–
40 ± 2	–	10	21	56	–	–	–
55 ± 2	–	–	–	–	4	7	14

В процессе испытания рекомендуется периодически проверять параметры изделий, оговоренные в ПИ и ТУ. Перед измерением параметров изделия прогревают (выдерживают во включенном состоянии) в течение времени, указанного в ПИ или ТУ, но не более 15 мин. Длительность измерений не должна превышать 10 – 15 мин. При измерениях в камере в процессе испытаний необходимо учитывать тепловое излучение изделий, которое не должно вносить изменений в режим работы камеры. Измерение параметров следует производить при отсутствии росы на поверхности РЭС.

2.3 Испытательное оборудование

Для испытания РЭС и их элементов на воздействие влаги используют камеры влажности или комбинированные термовлагокамеры. Камеры должны обеспечивать получение воздуха с определенной температурой, влажностью и скоростью движения. При этом должен воспроизводиться постоянный или циклический режим испытаний.

Испытательная камера, как правило, состоит из рабочего отсека, в котором размещают испытываемые изделия, осушительно-увлажнительного устройства, вентиляторов, измерителя влажности, вспомогательных устройств и электрооборудования. Для получения в камере заданного режима необходимо достаточно точно регулировать влаго- и теплосодержание воздуха, поскольку незначительные изменения температуры сопровождаются значительными колебаниями относительной влажности около точки росы. Для поддержания относительной влажности $95 \pm 3 \%$ в диапазоне температур 40 – 70 °С требуется точность регулирования по сухому термометру $\pm 0,3$ °С, а по мокрому – до $\pm 0,2$ °С.

Для обеспечения требуемой влажности воздуха в испытательных камерах применяется ряд способов (рисунок 2.2). Наиболее простым является открытый способ (рисунок 2.2, а), воспроизводящий природные условия увлажнения. Его недостатком является трудность поддержания необходимого режима. Характерной особенностью закрытых способов увлажнения является рециркуляция воздуха из рабочего объема камеры через увлажнительное устройство. В увлажнителе воздух либо продувается через слой подогретой воды (ри-

сунок 2.2, б), либо смешивается с распыленной водой (рисунок 2.2, в). Иногда для имитации быстрых суточных изменений температуры и влажности воздуха в испытательный объем вводится водяной пар.

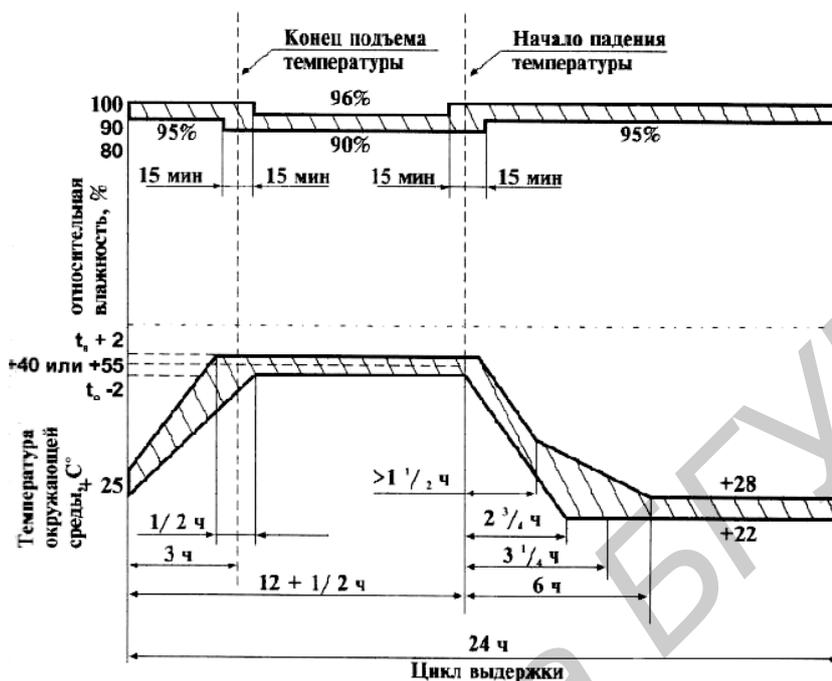


Рисунок 2.1 – Этапы изменения относительной влажности и температуры окружающей среды в циклическом режиме

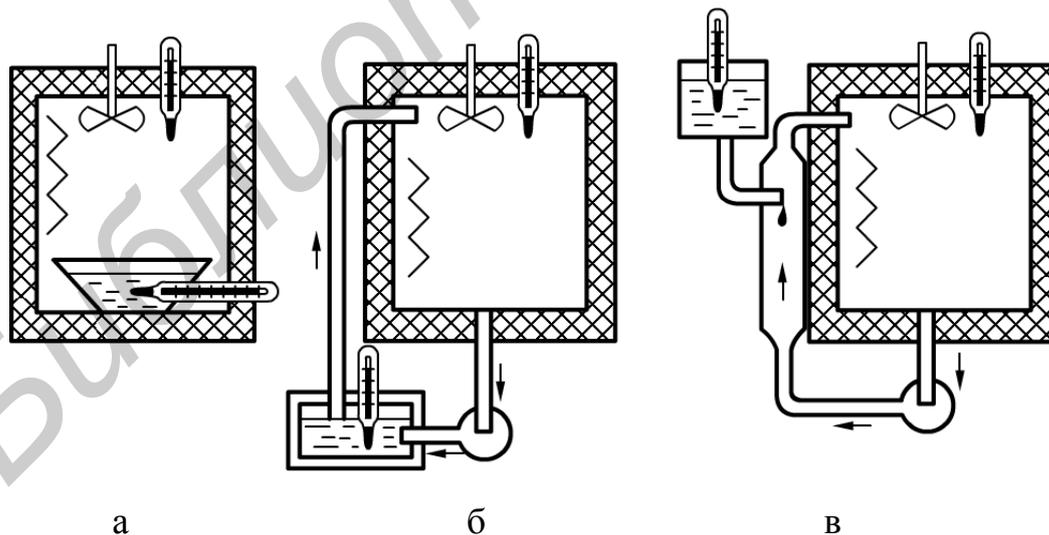
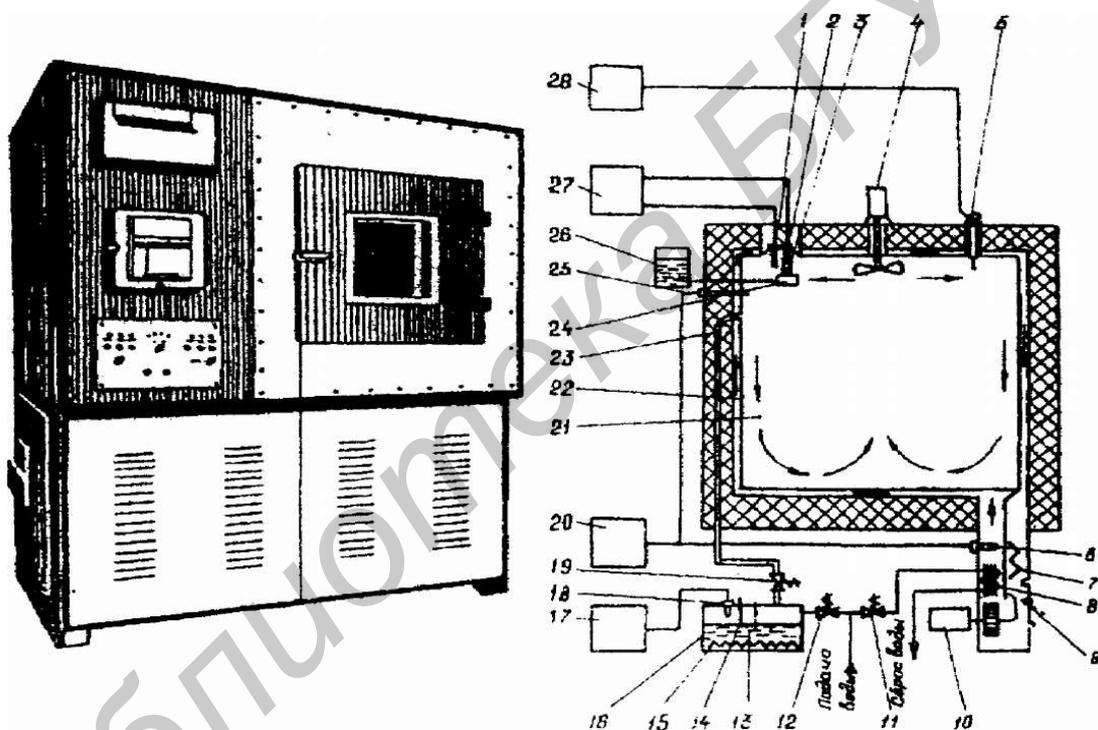


Рисунок 2.2 – Способы увлажнения воздуха

Управление, сигнализация и контроль режима испытаний выполняются вручную или автоматически. Автоматическое поддержание режима работы тепловлагокамеры основано на совместном действии датчиков температуры и влажности с программными устройствами и исполнительными механизмами.

Для измерения влажности воздуха в испытательных камерах применяют гигрометры, в которых используется психрометрический или сорбционный метод измерения влажности. Психрометрический метод основан на принципе сравнения температуры воздуха и температуры тела, с поверхности которого происходит испарение воды. Сорбционный метод основан на использовании гигроскопических тел, свойства которых изменяются в зависимости от количества поглощенной влаги. В зависимости от свойства материала, использованного для измерения, различают деформационные, весовые, цветные и другие сорбционные гигрометры.

В системах автоматического регулирования температуры и влажности в качестве датчиков наиболее часто используются ртутные контактные термометры, терморезисторы, термопары и деформационные гигрометры. Внешний вид и схема камеры тепла и влаги КТВ-0,4/155 приведены на рисунке 2.3.



- 1 – сухой термометр; 2 – мокрый термометр; 3 – чехол; 4, 10 – вентиляторы;
 5, 6, 18, 25 – платиновые термометры сопротивления; 7, 15 – нагреватели;
 8 – змеевик; 9 – заслонка; 11, 12, 19 – соленоидные вентили; 13, 14 – датчики
 уровня воды, 16 – паровой увлажнитель; 17, 20, 27, 28 – электронные мосты;
 21 – полезный объем камеры; 22 – пространство для циркуляции воздуха;
 23 – пароотвод; 24 – стакан подпитки; 26 – емкость с дистиллированной водой

Рисунок 2.3 – Камера тепла и влаги КТВ-0,4/155

2.4 Задание

2.4.1 Изучите методы проведения испытаний на воздействие влаги, способы достижения, измерения и поддержания режимов по влажности воздуха и повышенной температуре при организации испытаний на воздействие влаги.

2.4.2 Ознакомьтесь с назначением, устройством, принципом работы и основными техническими характеристиками испытательного оборудования, используемого в лаборатории.

2.4.3 Составьте программу и методику проведения испытаний на воздействие повышенной влажности.

2.4.4 Проведите испытание на влагоустойчивость (влагостойкость) сборки узлов или элементов РЭС, указанных преподавателем.

2.4.5 Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

2.5 Порядок выполнения работы

2.5.1 Ознакомьтесь с конструкцией и управлением испытательной камеры и контрольно-измерительной аппаратурой, необходимой для выполнения работы.

2.5.2 Составьте программу и методику испытаний.

2.5.3 Соедините схему измерений и выполните экспериментальную часть работы.

2.5.4 Подготовьте отчет и защитите работу.

2.6 Содержание отчета

2.6.1 Краткие сведения о методах испытаний на воздействие влаги, применяемом на кафедре ПИКС испытательном оборудовании и контрольно-измерительной аппаратуре.

2.6.2 Структурная схема измерений, эскиз испытательной установки, поясняющей принцип ее работы.

2.6.3 Программа и методика проведения испытаний на воздействие повышенной влажности.

2.6.4 Экспериментальные данные измерений и расчетов в виде таблиц или графических зависимостей.

2.6.5 Анализ полученных результатов. Выводы.

2.7 Контрольные вопросы

2.7.1 Назовите механизмы воздействия повышенной влажности на изделия РЭС.

2.7.2 Назовите особенности циклического и непрерывного режимов испытаний.

2.7.3 Как и почему изменяются параметры материалов, применяемых в производстве РЭС и ЭРЭ, при воздействии повышенной влажности?

2.7.4 Как классифицируются испытания на воздействие влаги?

2.7.5 Какова цель кратковременных испытаний на воздействие влаги?

2.7.6 Какие способы создания влажности используются в термовлагокамерах?

2.7.7 Как осуществляется измерение и регулирование влажности в термовлагокамерах?

2.7.8 Как скорость увлажнения воздуха в испытательной камере зависит от температуры?

2.7.9 Как определяется влагоустойчивость испытываемого изделия?

2.7.10 Изобразите структурную схему термовлагокамеры и объясните принцип ее действия.

Литература

1 Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондрашин ; под ред. В. К. Федорова. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.

2 ГОСТ 20.57.406–81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 192 с.

3 Глудкин, О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС / О. П. Глудкин. – М. : Высш. шк., 1991. – 335 с.

4 Испытание радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / под ред. А. И. Коробова. – М. : Радио и связь, 1987. – 275 с.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №3

ИСПЫТАНИЯ РЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК

3.1 Цель работы

3.1.1 Изучение методов проведения испытаний на воздействие ударов, принципа действия и устройства ударных стендов.

3.1.2 Изучение методов измерения параметров удара.

3.1.3 Проведение испытания РЭС и измерение параметров воздействующих ударов.

3.2 Общие сведения об испытаниях на воздействие ударных нагрузок

Испытания на воздействие ударных нагрузок проводятся с целью оценки ударной прочности и устойчивости изделий. Отличие этих испытаний заключается в том, что при испытании на ударную прочность проверяют способность изделия выдерживать разрушающие воздействия ударов и продолжать нормально функционировать после их прекращения, а при испытании на ударную устойчивость проверяют способность изделия выполнять свои функции при воздействии ударных нагрузок.

Испытаниям подвергают опытные образцы изделий, изделия из установочной серии, а также изделия серийного или массового производства при изменениях их конструкции или технологического процесса, а также марки или качества основных материалов, способных повлиять на механическую прочность изделий или их стойкость к воздействию механических факторов. Испытаниям должны подвергаться изделия РЭС в целом или отдельные их части, законченные сборкой и соответствующие ТУ или стандартам по конструкции, параметрам и внешнему виду. Если масса, габаритные размеры или конструкция изделий не позволяют испытать их в полном комплекте на существующем испытательном оборудовании, то испытания проводятся поблочно. Порядок проведения таких испытаний оговаривается в ТУ или в стандартах на изделие и в программах испытаний (ПИ). Если последовательные поблочные испытания не обеспечивают достаточной достоверности результатов испытаний, то испытания блоков, электрически связанных между собой, проводят одновременно при размещении их на нескольких стендах.

Способы крепления испытываемых образцов на платформе испытательной установки указываются в ТУ, стандартах и ПИ с учетом возможных положений РЭС при эксплуатации. Изделия, имеющие собственные виброизоляторы, крепятся на виброизоляторах. Жесткость крепежных приспособлений должна быть такой, чтобы механические нагрузки передавались изделию с минимальными искажениями.

Кривая изменения ускорения при испытаниях на ударное воздействие может иметь вид полуволны синусоиды, прямоугольного импульса или им-

пульса пилообразной формы. Режим испытаний указывают в ТУ, стандартах или ПИ и зависит он от назначения изделия. Так, длительность ударов при испытаниях бывает от 1 до 18 мс, ускорение – от 5 до 150 g, число ударов – до 12 000.

Параметры режимов при испытаниях на ударные воздействия устанавливаются в контрольной точке, которая выбирается в одном из следующих мест:

- на платформе стенда, рядом с одной из точек крепления изделия;
- на крепежном приспособлении, если изделие крепится на приспособлении;
- рядом с точкой крепления виброизолятора, если изделие крепится на собственных виброизоляторах.

В технически обоснованных случаях допускается выбирать контрольную точку на изделии при условии, что измерение в этой точке обеспечит объективный контроль параметров воздействия.

Испытания РЭС на ударную прочность могут производиться под электрической нагрузкой и без нее, а на ударную устойчивость – обязательно под электрической нагрузкой. При этом в процессе испытаний РЭС должны полностью выполнять свои функции и сохранять электрические параметры в пределах требований ТУ и ПИ.

Испытания на ударную устойчивость и ударную прочность относятся к испытаниям на воздействие многократных ударов. Наряду с этими испытаниями некоторые виды РЭС подвергаются испытаниям на воздействие одиночных ударов с большим ускорением. При этих испытаниях проверяется способность изделия противостоять разрушающему воздействию ударов с ускорением, достигающим для некоторых видов изделий нескольких тысяч гал. Рекомендуется подвергать испытываемый образец трем ударам в каждом положении.

Основные характеристики режимов испытания РЭС при многократном воздействии ударов – пиковое ударное ускорение и общее число ударов задаются в соответствии со степенью жесткости испытаний (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Основные характеристики режимов испытаний

Степень жесткости	Ускорение, g	Общее число ударов для выборки	
		3 шт. и менее	Более 3 шт.
I	15	12 000	10 000
II	40	12 000	10 000
III	75	6000	4000
IV	150	6000	4000

Форма ударного импульса как одна из важнейших характеристик, обеспечивающих единство испытаний, регламентируется в ТУ. Самым опасным для изделий является трапецеидальный импульс, поскольку он имеет наиболее широкую область квазирезонансного возбуждения и наибольший коэффициент динамичности в этой области. Пилообразный импульс позволяет достигнуть наилучшей воспроизводимости испытаний, однако получить пилообразный ударный импульс труднее, чем импульс другой формы. На практике при испы-

таниях чаще всего используют полусинусоидальный ударный импульс, формирование которого наиболее просто и требует наименьших затрат.

Испытания на ударную нагрузку проводят в квазирезонансном режиме возбуждения. Длительность воздействия ударного ускорения выбирают в зависимости от значения низшей резонансной частоты изделия (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Значения длительности ударного ускорения

$f_{\text{он}}$, Гц	60 и менее	60...100	100...200	200...500	500...1000	Свыше 1000
τ , мс	18 ± 5	11 ± 4	6 ± 2	3 ± 1	$2 \pm 0,5$	$1 \pm 0,3$

Если технические характеристики оборудования не обеспечивают требуемой длительности действия ударного ускорения, то допускается проведение испытаний с длительностью действия ударного ускорения, определяемой по формуле

$$\tau \geq \frac{300}{f_{\text{он}}}, \quad (3.1)$$

где τ – длительность, мс;

$f_{\text{он}}$ – низшая резонансная частота изделия, Гц.

Испытания проводят при частоте следования от 40 до 120 ударов в минуту. Допускаются перерывы в испытании, длительность которых не ограничивается, но при этом общее число ударов должно сохраняться.

Испытания на воздействие одиночных ударов проводят с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию механических ударов одиночного действия и выполнять свои функции после воздействия ударов, а также (если указать в ТУ) выполнять свои функции или не допускать ложных срабатываний в процессе воздействия ударов. Значение пикового ударного ускорения выбирают из таблицы 3.3. Значение длительности ударного ускорения с полусинусоидальной формой импульса в зависимости от нижних резонансных частот изделий выбирают из таблицы 3.2 для степеней жесткости I – III и по таблице 3.4 для степеней жесткости IV и выше.

Таблица 3.3 – Значение пикового ударного ускорения

Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, g	Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, g
I	20	VIII	3000
II	100	IX	5000
III	150	X	10 000
IV	200	XI	20 000
V	500	XII	50 000
VI	1000	XIII	100 000
VII	1500	–	–

Таблица 3.4 – Значение длительности ударного ускорения

Значение низших резонансных частот изделия, Гц	Длительность действия ударного импульса, мс
500 и ниже	3 ± 1
500 – 1000	$2 \pm 0,5$
1000 – 2000	$1 \pm 0,3$
2000 – 5000	$0,5 \pm 0,2$
5000 – 10 000	$0,2 \pm 0,1$
10 000 – 20 000	$0,1 \pm 0,05$
20 000 и выше	$0,05 \pm 0,02$

Длительность действия ударного ускорения τ в миллисекундах с трапецидальной или пилообразной формой импульса ударного ускорения выбирают соответственно по формулам

$$\tau > \frac{n \cdot 10}{f_{OH}}, \quad (3.2)$$

где значение n выбирают в диапазоне от 3 до 100,

и

$$\tau > \frac{300}{f_{OH}}, \quad (3.3)$$

где f_{OH} – низшая резонансная частота изделия, Гц.

Полученные по формулам (3.2) и (3.3) значения τ округляют до ближайших значений, приведенных в таблицах 3.2 и 3.4.

Испытания проводят путем воздействия ударов поочередно в каждом из двух противоположных направлений по трем взаимно перпендикулярным осям изделия (6 направлений). Изделия, у которых известно одно наиболее опасное направление воздействия, испытывают только в этом направлении. Независимо от количества выбранных направлений воздействия пикового ударного ускорения в каждом направлении проводят три удара.

3.3 Измерение параметров удара

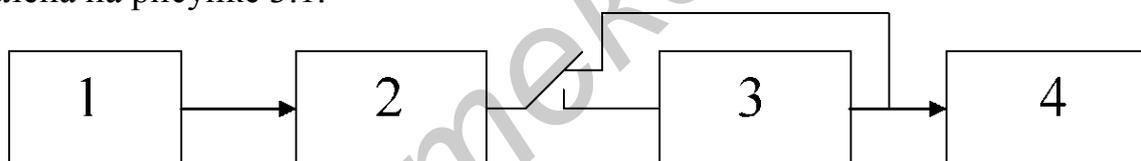
При измерении параметров удара необходимо регистрировать:

- пиковое ударное ускорение;
- длительность действия ударного ускорения;
- форму импульса ударного ускорения.

Измерение параметров удара должно проводиться одним из следующих методов:

- с помощью пьезоэлектрического измерительного преобразователя (ИП) с известным коэффициентом преобразования;
- по изменению скорости при ударе с использованием ИП с неизвестным коэффициентом преобразования;
- крешерным методом (только для измерения ускорения).

Для измерений используют аппаратуру, структурная схема которой представлена на рисунке 3.1.



1 – измерительный преобразователь (ИП); 2 – согласующий усилитель (СУ);
3 – фильтр; 4 – регистрирующий прибор

Рисунок 3.1 – Структурная схема измерения параметров удара

Датчиком служит пьезоэлектрический измерительный преобразователь с резонансной частотой не менее 20 кГц. Согласующий усилитель служит для согласования большого выходного сопротивления преобразователя с малым входным сопротивлением регистрирующего прибора. Для уменьшения высокочастотных составляющих, искажающих форму основного ударного импульса и затрудняющих измерение, в схему включен фильтр с требуемой полосой пропускания и минимально возможной неравномерностью частотной характеристики в полосе пропускания.

В качестве регистрирующего прибора используется осциллограф с длительным послесвечением в режиме ждущей развертки, откалиброванный по чувствительности и длительности развертки. На экране осциллографа непосредственно наблюдают форму ударного импульса и проводят расчет его параметров.

Для определения ускорения необходимо в момент удара зафиксировать на экране осциллографа амплитуду ударного импульса N без учета высокочастотных составляющих. Соответствующее ускорение при известном коэффициенте преобразования измерительного преобразователя рассчитывается по формуле

$$j = \frac{p \cdot N}{K}, \quad (3.4)$$

где p – чувствительность осциллографа по оси Y , мВ/мм;

N – амплитуда ударного импульса;

K – коэффициент преобразования измерительного преобразователя, определенный совместно с согласующим усилителем при калибровке, мВ/г.

Для измерения длительности ударного импульса необходимо в момент удара зафиксировать на экране осциллографа или замерить на осциллограмме горизонтальное отклонение луча n в миллиметрах (рисунок 3.2). Тогда длительность ударного импульса можно рассчитать по формуле

$$\tau = \tau' \cdot n, \quad (3.5)$$

где τ' – масштаб горизонтальной оси осциллографа X , с/мм.

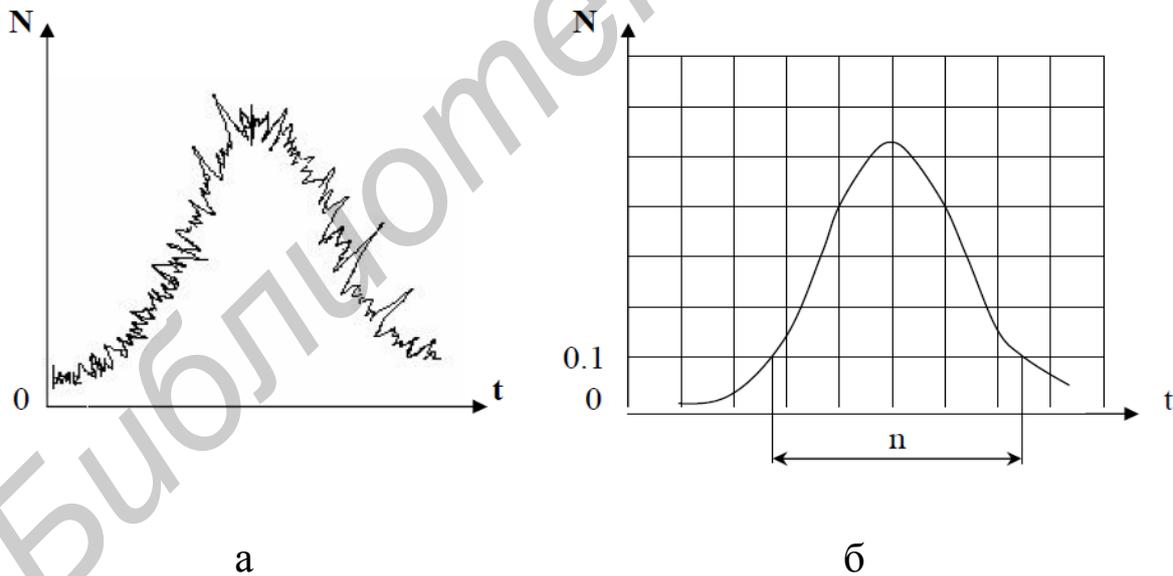


Рисунок 3.2 – Осциллограмма ударного импульса

3.4 Испытательное оборудование

При испытаниях РЭС на многократные ударные нагрузки используются механические и электродинамические стенды и установки. В механических ударных стендах ударное ускорение создается в вертикальном направлении при ударе свободно падающего стола 5 с прикрепленным к нему испытываемым изделием об упругие элементы 3, установленные на станине (рисунок 3.3). Величина ускорения зависит от высоты падения и массы стола. Длительность и форма ударного импульса зависят от того, как с момента соприкосновения рабочего стола с упругими элементами ударное ускорение нарастает до максимального значения и регулируется подбором толщины и жесткости калиброванных упругих элементов. Частота ударов устанавливается путем изменения числа оборотов электродвигателя, вращающего эксцентрик 7, поднимающий стол стенда.

Электродинамическая ударная установка (рисунок 3.4) состоит из стойки управления и непосредственно ударного стенда. Принцип ее действия основан на том, что при протекании переменного тока по обмотке подвижной катушки, находящейся в постоянном магнитном поле, возникает сила, заставляющая подвижную катушку и связанный с ней рабочий стол совершать колебания с частотой проходящего через катушку тока. Удар получается при разряде через подвижную катушку стенда конденсаторной батареи, входящей в состав шкафа управления.

Возникающая при этом сила F определяется выражением

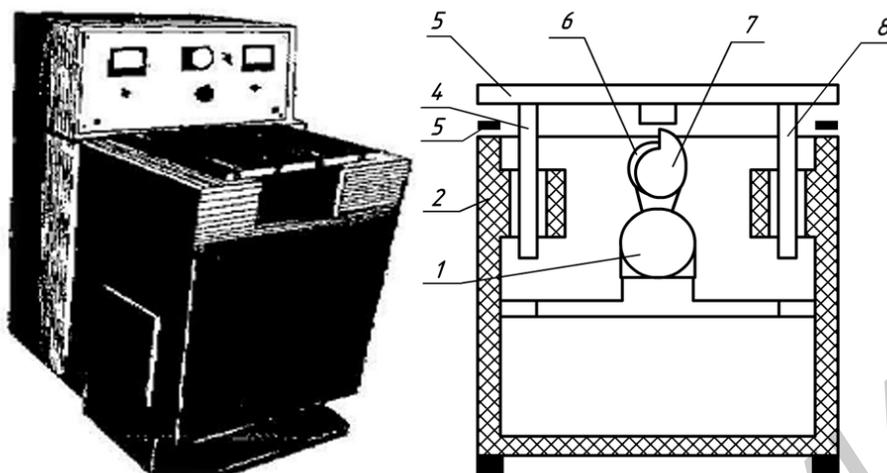
$$F = 2BLI \quad (3.6)$$

где B – индукция в воздушном зазоре магнитной цепи вибратора;

L – длина провода подвижной катушки;

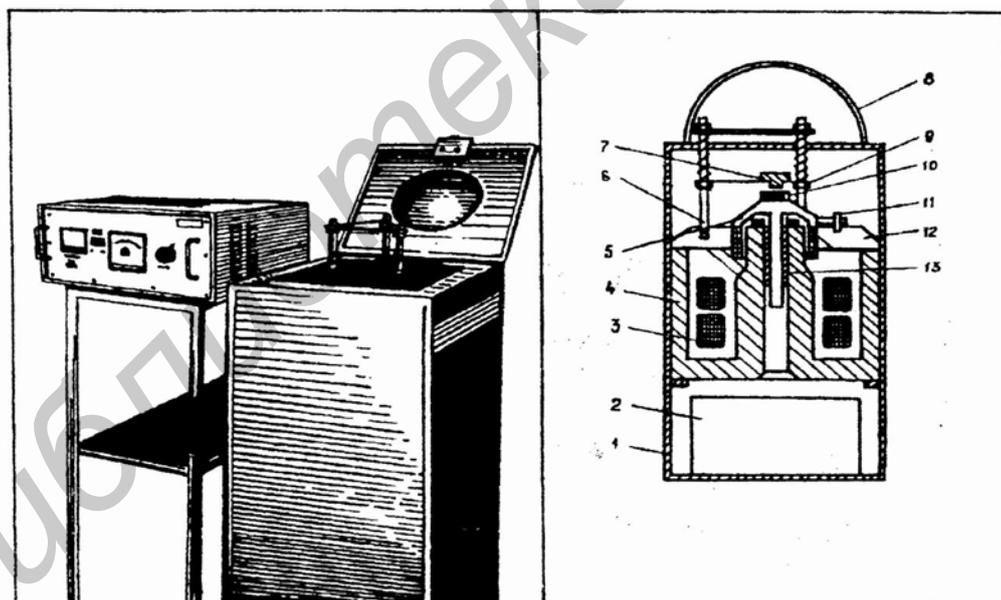
I – эффективное значение силы тока в подвижной катушке.

При испытаниях на воздействие одиночных ударов с большим ускорением используются пневматические ударные установки (рисунок 3.5), а также ударные стенды копрового (маятникового) типа. В некоторых случаях РЭА может испытываться на прочность при свободном падении путем ее сбрасывания с определенной высоты на покрытую войлоком или другим материалом стальную плиту, смонтированную в бетонное основание.



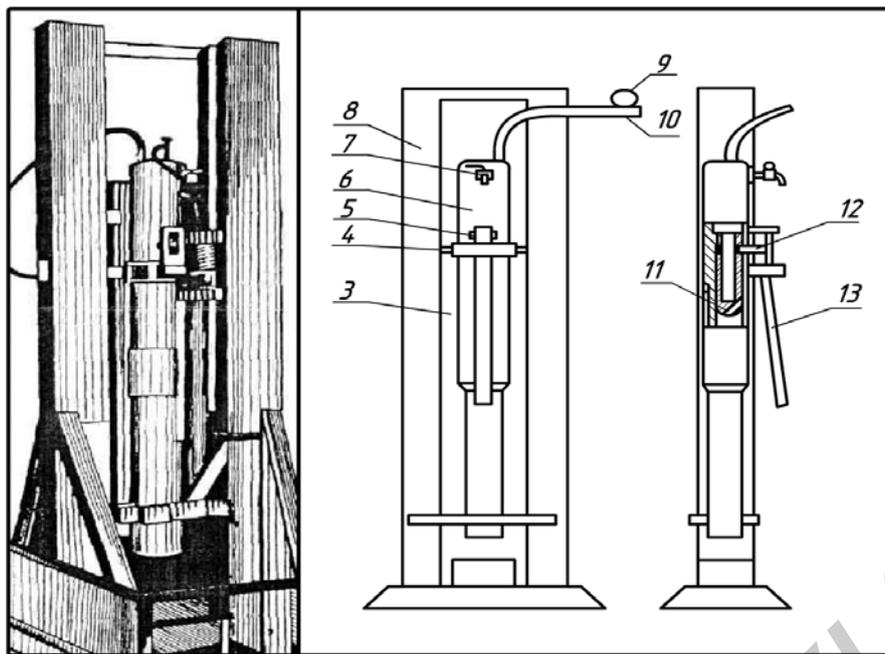
1 – электродвигатель; 2 – станина; 3 – амортизирующая прокладка; 4 – направляющие; 5 – стол; 6 – клиноремённая передача; 7 – кулачок; 8 – резиновые амортизаторы

Рисунок 3.3 – Схема станда для испытаний на воздействие многократных ударов



1 – кожух; 2 – блок питания; 3 – обмотка подмагничивания; 4 – корпус электромагнита; 5 – подвижная система; 6, 11 – направляющие; 7 – стол; 8 – крышка станда; 9 – мембрана; 10 – прокладка; 12 – крышка электромагнита; 13 – втулка

Рисунок 3.4 – Электродинамическая ударная установка



1 – наковальня; 2 – зажим; 3 – направляющий стол; 4 – ось; 5 – запорно-пусковой механизм; 6 – рабочая камера; 7 – кран; 8 – станина; 9 – манометр; 10 – шланг; 11 – болванка; 12 – замковый зуб; 13 – рычаг

Рисунок 3.5 – Пневматическая ударная установка

3.5 Задание

3.5.1 Изучите соответствующие методы и средства испытания РЭС и ее элементов на воздействие ударных нагрузок.

3.5.2 Ознакомьтесь с назначением, устройством, принципом работы и основными техническими параметрами электродинамической ударной установки УУЭ-2/200 и испытательных стендов, используемых на кафедре.

3.5.3 Составьте программу и методику проведения испытаний на воздействие ударных нагрузок.

3.5.4 Исследуйте зависимость параметров (длительности, ударного ускорения, формы) ударов от параметров ударного стенда и проведите испытания предложенных элементов или блоков РЭС.

3.6 Порядок выполнения работы

3.6.1 Ознакомьтесь с конструкцией и управлением ударной установки и измерительными приборами.

3.6.2 Составьте программу и методику испытаний на воздействие ударных нагрузок.

3.6.3 Соедините схему измерения и выполните экспериментальную часть работы.

3.6.4 Подготовьте отчет и защитите работу.

3.7 Содержание отчета

3.7.1 Краткие сведения о методах испытаний на воздействие ударных нагрузок, испытательном оборудовании и контрольно-измерительной аппаратуре, применяемой на кафедре.

3.7.2 Структурная схема и эскиз конструкции используемой ударной установки.

3.7.3 Программа и методика испытаний на воздействие ударных нагрузок.

3.7.4 Результаты измерений и расчетов.

3.7.5 Анализ полученных результатов. Выводы.

3.8 Контрольные вопросы

3.8.1 Какое влияние оказывают удары на РЭС и ее элементы?

3.8.2 Каковы основные параметры механического удара?

3.8.3 Как крепится изделие на платформе стенда при испытаниях на ударные нагрузки? Где выбираются контрольные точки?

3.8.4 Приведите методику проведения испытаний на ударную прочность (устойчивость).

3.8.5 Чем отличаются испытания на ударную устойчивость от испытаний на ударную прочность.

3.8.6 Поясните принцип работы электродинамической ударной установки.

3.8.7 Как измеряются параметры удара? Назовите методы измерения и поясните особенности их реализации.

3.8.8 Как можно изменять параметры удара электродинамической (механической) ударной установки?

Литература

1 Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондрашин ; под ред. В. К. Федорова. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.

2 ГОСТ 20.57.406–81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 192 с.

3 Глудкин, О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС / О. П. Глудкин. – М. : Высш. шк., 1991. – 335 с.

4 Испытание радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / под ред. А. И. Коробова. – М. : Радио и связь, 1987. – 275 с.

Лабораторная работа №4

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЭС МЕТОДАМИ ГРАНИЧНЫХ И МАТРИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

4.1 Цель работы

4.1.1 Ознакомление с методикой проведения граничных и матричных испытаний на примере определения границ области устойчивой работы простых РЭС.

4.1.2 Уточнение расчетных данных и определение допусков на параметры и режимы работы элементов РЭС.

4.2 Основные положения теории

Радиоэлектронной аппаратуре свойственны внезапные и постепенные отказы. Постепенные отказы обуславливаются износowymi явлениями и действием таких дестабилизирующих факторов, как изменение температуры, влажности, давления и т. д. В условиях эксплуатации постепенные отказы проявляются в виде медленного, сравнительно плавного изменения или «сползания» выходных параметров РЭС. И если величина одного из параметров оказывается за допустимыми пределами, то регистрируется отказ. С целью повышения надежности РЭС на стадии разработки важно знать, при каких отклонениях параметров схемы от номинальных величин выходные параметры сохраняют свои значения в допустимых пределах. Для этого проводят так называемые граничные испытания. По результатам граничных испытаний выбирается такой режим работы каскадов и устанавливаются такие допуски на элементы схемы, при которых обеспечивается наименьшая вероятность отклонения выходных параметров РЭС за допустимые пределы при изменении дестабилизирующих факторов.

Обычно исследования начинают с определения границ для каждого варьируемого параметра, в пределах которых выходной параметр удовлетворяет техническим требованиям и систему можно считать работоспособной. Результаты граничных испытаний полностью определяют конфигурацию и положение области допустимых значений в факторном пространстве, если ограничения обусловлены только техническими требованиями. В более сложных случаях необходим не только учет работоспособности, но и других показателей, например, экономических, надежности, стабильности работы и др. В этих условиях результаты граничных испытаний дополняются ограничениями, вытекающими из требований к данным показателям.

Любое радиоэлектронное устройство характеризуется некоторой совокупностью выходных параметров. К ним относятся, например, колебательная мощность, рабочая частота, избирательность приемника, коэффициент усиления и характеристики частотных, фазовых, нелинейных искажений усилителя и т. д. Если выходные параметры лежат в допустимых пределах, то устройство считается работоспособным, в противном случае фиксируется отказ.

Каждое из этих уравнений описывает некоторую кривую в координатной плоскости ($\Delta\alpha_i/\alpha_{iном}$; $\Delta\beta_i/\beta_{iном}$). Если обозначить эти кривые через L1 и L2, то область, ограниченная L1 и L2, определит частную область работоспособности исследуемой системы (рисунок 4.3).

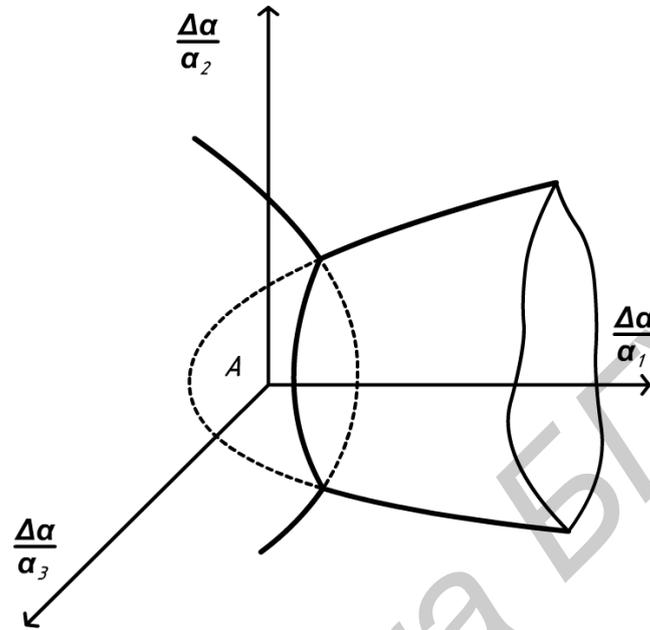


Рисунок 4.2 – Обобщенная схема работоспособности в относительных координатах

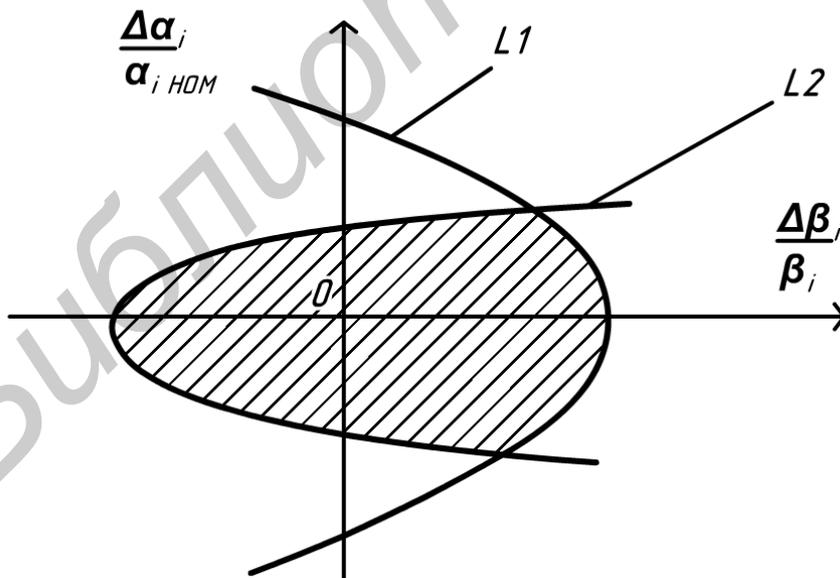


Рисунок 4.3 – Частная область работоспособности

Таким образом, граничными испытаниями называют экспериментальное определение границ нормальной работы системы при изменении параметров входящих в нее элементов и условий работы. Результатом граничных испытаний являются графики, иллюстрирующие изменение параметров элементов от параметра граничных испытаний.

Метод граничных испытаний основан на предположении, что выходной параметр схемы представляет собой монотонную функцию многих переменных параметров. При моделировании экспериментальным путем определяются сечения данной функции по каждому из параметров, т. е. находятся допустимые пределы изменения этих параметров в зависимости от выбранного параметра граничных испытаний.

Принятая методика граничных испытаний состоит из следующих этапов исследования:

- определение критерия работоспособности системы (критерия граничных испытаний);
- выбор параметра граничных испытаний;
- оценка частных областей работоспособности системы по каждому из изменяемых параметров;
- анализ результатов испытаний и выработка рекомендаций по корректировке параметров системы.

Метод граничных испытаний часто применяется для исследования РЭС на стадии макетирования образцов с целью оптимального подбора параметров компенсирующих элементов, выбора оптимальных вариантов схем и режима их работы. Недостатками метода граничных испытаний является невозможность количественной оценки показателей надежности, а также большая трудоемкость проведения экспериментальных исследований.

В качестве критерия граничных испытаний обычно используется условие (4.2). В некоторых случаях, например, при исследовании автоколебательных систем, в качестве критерия может выступать сам факт наличия колебаний. Также в качестве критерия граничных испытаний для различных устройств могут быть коэффициент усиления, коэффициент нелинейных искажений, частотный диапазон, длительность импульса, выходная мощность и т. д.

При выполнении граничных испытаний удобно, чтобы одна из осей координат для всех частных областей была общей. Параметр, ось которого содержится во всех секущих координатных плоскостях, называют параметром граничных испытаний.

При выборе параметра граничных испытаний руководствуются следующими требованиями:

- влияние этого параметра на выходной параметр системы должно быть определяющим;
- он должен либо не зависеть, либо слабо зависеть от других параметров системы;
- параметр граничных испытаний должен допускать, по возможности, плавное изменение в достаточно широких пределах;

- его изменение в указанных пределах не должно изменять параметры других элементов системы.

В качестве параметра граничных испытаний чаще всего используют питающие напряжения или соответствующие внешние воздействия (температура, вибрация и др.)

4.3 Методика проведения граничных испытаний

Пусть роль параметра граничных испытаний выполняет параметр β , а роль изменяемых параметров исследуемой системы – параметр α . Тогда результаты испытаний можно представить в относительных координатах в виде:

- оси ординат – $\Delta\alpha/\alpha_{\text{НОМ}}$;

- оси абсцисс – $\Delta\beta/\beta_{\text{НОМ}}$.

Последовательность проведения граничных испытаний следующая:

1 Устанавливают номинальные значения всех параметров исследуемой системы.

2 Если критерием работоспособности системы служит условие

$$N_{\min} < N < N_{\max},$$

то изменяя величину параметра граничных испытаний β в сторону уменьшения, а затем в сторону увеличения, фиксируют относительные изменения выходного параметра:

$$\{\Delta\beta/\beta_{\text{НОМ}}\}_{\min} \text{ и } \{\Delta\beta/\beta_{\text{НОМ}}\}_{\max},$$

при которых наступает отказ системы, т. е. выходной параметр системы становится равным N_{\min} или N_{\max} .

3 Дают некоторое приращение $\Delta\alpha_i$ изменяемому параметру системы, для которого снимается частная область работоспособности, оставляя другие параметры исследуемой системы в номинальных значениях. При этом вновь изменяют параметр граничных испытаний β в обе стороны от номинального значения и фиксируют величины выходных параметров, при которых выполняется условие

$$N = N_{\min} \text{ и } N = N_{\max} .$$

Таким образом определяют еще два значения:

$$\{\Delta\alpha_i/\alpha_{\text{НОМ}}; \Delta\beta_i/\beta_{\text{НОМ}}\}_{\min} \text{ и } \{\Delta\alpha_i/\alpha_{\text{НОМ}}; \Delta\beta_i/\beta_{\text{НОМ}}\}_{\max},$$

отвечающие отказу системы, но уже при $\alpha_i = \alpha_{\text{НОМ}} \pm \Delta\alpha_i$.

4 Повторяют аналогично измерения для других значений приращений $\Delta\alpha_i$ и получают множество граничных точек, удовлетворяющих условию

$$\{\Delta\alpha_i/\alpha_{iном}; \Delta\beta_i/\beta_{iном}\}^k \min \text{ и } \{\Delta\alpha_i/\alpha_{iном}; \Delta\beta_i/\beta_{iном}\}^k \max,$$

где $k = 1, 2, \dots, n$, при этом n – число значений $\frac{\Delta\alpha}{\alpha_{ном}}$, при которых проводились измерения.

Каждое из этих множеств определяет некоторую кривую в плоскости $\{\Delta\alpha_i/\alpha_{iном}; \Delta\beta_i/\beta_{iном}\}$, которая служит одной из границ частной области работоспособности системы. Обычно шаг изменения параметра α принимают равным $\pm(5 - 10) \%$.

5 Полученные множества граничных точек изображают в координатах $\{\Delta\alpha_i/\alpha_{iном}; \Delta\beta_i/\beta_{iном}\}$ и соответствующие точки соединяют плавными линиями. В результате получают границы L1 и L2 искомой частной области работоспособности (рисунок 4.4).

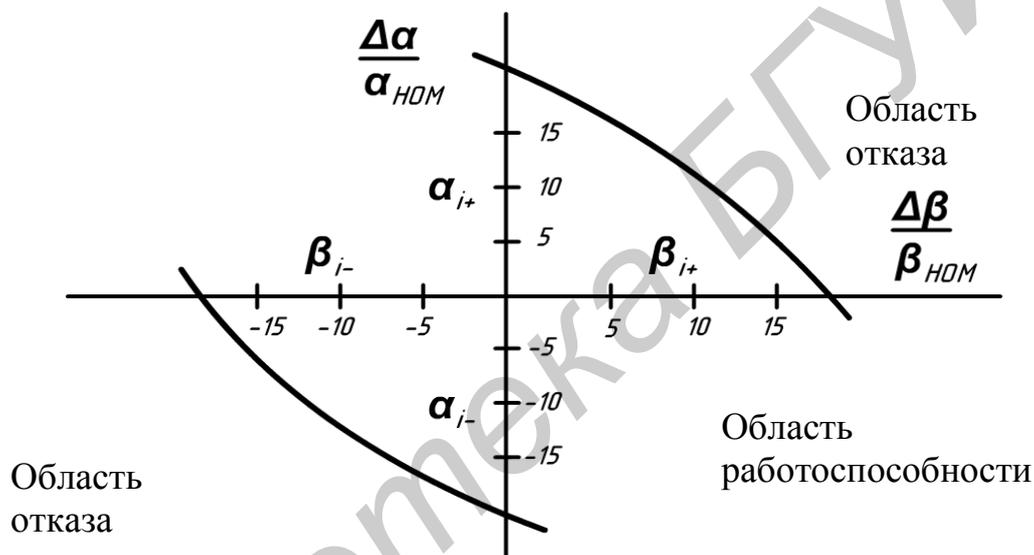


Рисунок 4.4 – Частная область работоспособности

6 Наложив друг на друга частные области, находят контур общей области работоспособности системы, которая представляет собой общую часть всех частных областей.

Графики граничных испытаний представляют, как правило, замкнутые или полузамкнутые области в координатах $\{\Delta\alpha_i/\alpha_{iном}; \Delta\beta_i/\beta_{iном}\}$, внутри которых нетрудно определить точку с номинальными значениями величин $\alpha_{iном}$ и $\beta_{iном}$. Если эта точка лежит приблизительно в центре области работоспособности, то можно говорить о симметрии запасов устойчивой работы схемы по данному параметру. Если же эта точка смещена к границе области отказа, то необходимо скорректировать номинальные значения $\alpha_{ном}$ и $\beta_{ином}$ таким образом, чтобы запасы устойчивой работы были отсимметрированы. При этом необходимо учитывать, что корректировка номинала питающего напряжения не всегда желательна и может быть проведена лишь при подтверждении ее необходимости по всем парциальным графикам.

4.4 Методика проведения матричных испытаний

Дальнейшим развитием метода граничных испытаний являются матричные испытания, которые позволяют исключить возможные ошибочные выводы и рекомендации по корректировке номиналов элементов, полученные при анализе парциальных графиков. Матричные испытания подразумевают создание на исследуемом макете необходимого числа случайных ситуаций отклонений параметров и проверку работоспособности системы при этих ситуациях.

При моделировании диапазон возможных изменений каждого выходного параметра $X_{i\min} \dots X_{i\max}$ разбивается на равные интервалы, называемые квантами. При этом из графиков граничных испытаний определяют кванты положительных и отрицательных отклонений параметров α_{i+} , α_{i-} , β_{i+} , β_{i-} , равные значениям середин полей отклонений запасов устойчивости от номинальных значений параметров и представленные в абсолютных единицах (рисунок 4.5). После определения квантов составляется матрица случайных ситуаций. В общем случае число ситуаций будет равно 2^m , где m – число влияющих параметров. Устанавливая на исследуемом макете последовательно каждую ситуацию согласно записи квантов в строках для каждого случая, фиксируют отсутствие 0 или наличие 1 срыва устойчивой работы системы (отказ системы).

Например, для трех влияющих параметров матрица случайных состояний выглядит следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{1+} & \alpha_{2+} & \beta_{+} & 0 \\ \alpha_{1-} & \alpha_{2+} & \beta_{+} & 1 \\ \alpha_{1+} & \alpha_{2-} & \beta_{+} & 0 \\ \alpha_{1+} & \alpha_{2+} & \beta_{-} & 1 \\ \alpha_{1+} & \alpha_{2-} & \beta_{-} & 0 \\ \alpha_{1-} & \alpha_{2-} & \beta_{+} & 1 \\ \alpha_{1-} & \alpha_{2+} & \beta_{-} & 1 \\ \alpha_{1-} & \alpha_{2-} & \beta_{-} & 0 \end{bmatrix}$$

Рисунок 4.5 – Матрица случайных состояний

Далее, подсчитав число срывов устойчивой работы системы, при которых «участвовал» тот или иной квант, получаем результирующую таблицу матричных испытаний (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результирующая таблица матричных испытаний

Обозначение кванта	α_{1-}	α_{1+}	α_{2+}	α_{2-}	β_{+}	β_{-}
Число отказов (срывов устойчивой работы системы)	3	1	3	1	2	2

Из таблицы 4.1 видно, что увеличение параметра α_1 повышает устойчивость работы системы, уменьшение параметра α_2 приводит к аналогичному результату, а изменение параметра β взаимно уравновешено. Поэтому наиболее рациональным является выбор значений элементов с номиналами

$$\alpha_1 = \alpha_{+}; \alpha_2 = \alpha_{-}; \beta = \beta_{\text{ном.}}$$

4.5 Анализ результатов испытаний

Результаты граничных и матричных испытаний позволяют решить ряд важных практических проблем и задач, среди которых можно выделить следующие:

- выбрать наиболее надежную систему из числа систем, выполняющих одну и ту же функцию;
- оптимизировать номинальные величины параметров элементов системы;
- дать оценку предельно допустимых отклонений параметров системы при заданном поле допуска на выходной параметр.

Практически задача оптимизации системы предусматривает два этапа. На первом этапе осуществляется грубая корректировка параметров таким образом, чтобы их величины соответствовали центрам частных областей работоспособности при одинаковом значении параметра граничных испытаний. На втором этапе уточняются номинальные величины параметров путем совмещения рабочей точки с центром общей области работоспособности.

Сравнение однотипных систем по параметрической надежности осуществляют, сопоставляя их общие области работоспособности. Действительно, наиболее надежную систему характеризует такая область работоспособности, у которой любая точка границ L1 и L2 максимально удалена от центра. Предельно допустимые отклонения каждого из параметров элементов не должны выходить за пределы общей области с учетом возможного смещения этих параметров под влиянием дестабилизирующих факторов.

Располагая графиками частных областей работоспособности системы, можно оценить коэффициенты влияния по формуле

$$\beta \cong \frac{\left\{ \frac{\Delta N}{N_n} \right\}_{\text{ДОП}}}{a}, \quad (4.6)$$

где a – значение $\frac{\Delta\alpha_i}{\alpha_{\text{НОМ}}}$, при котором граница частной области пересекает

ось $\frac{\Delta\alpha_i}{\alpha_{\text{НОМ}}}$ (рисунок 4.6);

$\left\{ \frac{\Delta N}{N_H} \right\}$ – заданное предельно допустимое отклонение выходного параметра, соответствующего этой границе.

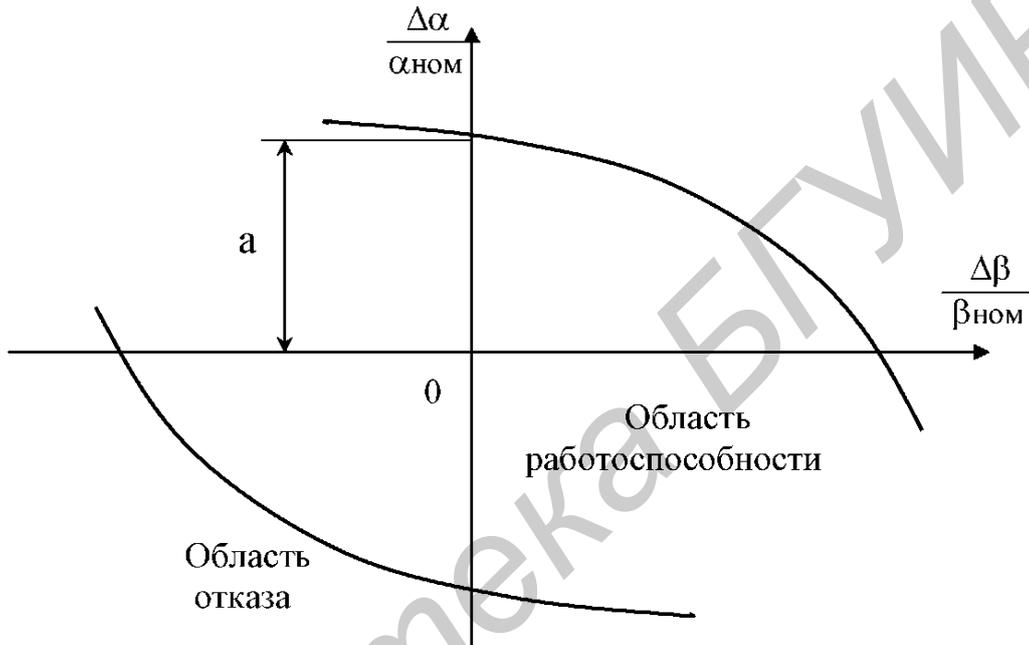


Рисунок 4.6 – Граничные кривые

Пусть, например, ось $\Delta\alpha_i/\alpha_{\text{иН}}$ пересекается граничной кривой L2. Если в точках этой кривой выходной параметр принимает значение $N = N_{\text{min}}$, то

$$\left\{ \frac{\Delta N}{N_H} \right\}_{\text{ДОП}} = \frac{(N_{\text{min}} - N_{\text{НОМ}})}{N_{\text{НОМ}}}.$$

Если $N = N_{\text{max}}$, то

$$\left\{ \frac{\Delta N}{N_H} \right\}_{\text{ДОП}} = \frac{(N_{\text{max}} - N_{\text{НОМ}})}{N_{\text{НОМ}}}.$$

По определению коэффициент влияния имеет вид

$$\beta_i = \frac{\Delta N / N_{\text{НОМ}}}{\Delta \alpha / \alpha_{\text{НОМ}}} \quad \text{при } \alpha_i = \alpha_{\text{ИН}},$$

причем отношение вычисляется при номинальных величинах всех элементов, включая тот элемент, для которого оценивается коэффициент влияния и который получает приращение $\Delta \alpha_i$.

Допустимые отклонения параметров элементов от номинальных значений можно определить, установив допуск на параметр граничных испытаний. Допуск на параметр граничных испытаний устанавливается самостоятельно по результатам граничных испытаний с учетом конкретной области работоспособности.

4.6 Порядок выполнения работы

4.6.1 Ознакомьтесь со схемой исследуемого макета, назначением и функциями органов управления. Определите элементы, оказывающие наибольшее влияние на ее устойчивое функционирование.

4.6.2 Подготовьте лабораторный макет к работе. Установите рекомендуемые номинальные значения параметров схемы по заданию преподавателя.

4.6.3 Определите критерий и параметр граничных испытаний, пределы их изменений и метод контроля.

4.6.4 Определите частные области работоспособности для всех элементов схемы, влияющих на нормальное функционирование устройства.

4.6.5 Постройте графики частных областей работоспособности схемы в координатах $\frac{\Delta \alpha_i}{\alpha_n}; \frac{\Delta \beta_i}{\beta_n}$ при $i = 1, 2, \dots, n$.

4.6.6 Совместив графики частных областей, определите общую область работоспособности. Установите оптимальные значения параметров схемы и напряжения питания по критерию параметрической надежности.

4.6.7 Проведите матричные испытания схемы, при этом:

- по результатам граничных испытаний определите 3 – 4 наиболее влияющих параметра схемы и составьте матрицу ситуаций;
- определите по графикам граничных испытаний положительные и отрицательные кванты значений влияющих параметров схемы;
- установите на макете каждую из перечисленных в матрице ситуаций и зафиксируйте наличие или отсутствие срыва устойчивой работы;
- составьте результирующую таблицу матричных испытаний.

4.6.8 Проведите анализ полученных результатов, определите коэффициенты влияния, установите допуски на элементы схемы и дайте рекомендации по их рациональному выбору.

4.7 Содержание отчета

- 4.7.1 Принципиальная схема исследуемого макета.
- 4.7.2 Графики частных областей и общей области работоспособности.
- 4.7.3 Матрица ситуаций и результаты оценки устойчивости работы схемы.
- 4.7.4 Результирующая таблица матричных испытаний.
- 4.7.5 Результаты расчета коэффициентов влияния.
- 4.7.6 Результаты определения допусков на параметры схемы.
- 4.7.7 Выводы о целесообразности коррекции номинальных величин параметров схемы с целью увеличения ее надежности.

4.8 Контрольные вопросы

- 4.8.1 В чем цель граничных испытаний?
- 4.8.2 Приведите примеры критерия и параметра граничных испытаний. Каким основным требованиям они должны удовлетворять?
- 4.8.3 Приведите уравнения границ области работоспособности схемы и дайте им графическую интерпретацию.
- 4.8.4 Что понимают под частной и общей областями работоспособности?
- 4.8.5 Как находят частную область работоспособности?
- 4.8.6 Какую информацию содержат результаты граничных испытаний?
- 4.8.7 Как оценить коэффициенты влияния?
- 4.8.8 Как определить допустимые отклонения параметров элементов схемы?
- 4.8.9 Суть метода матричных испытаний.
- 4.8.10 Какое значение имеют данные методы при проектировании конструкций РЭС?

Литература

- 1 Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондрашин ; под ред. В. К. Федорова. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.
- 2 ГОСТ 20.57.406–81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. М. : Издательство стандартов, 1988. – 192 с.
- 3 Глудкин, О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС / О. П. Глудкин. – М. : Высш. шк., 1991. – 335 с.
- 4 Смагин, Ю. Е. Матричные испытания радиоэлектронных устройств с помощью ЭВМ / Ю. Е. Смагин. – М. : Энергия, 1979. – 150 с.

Лабораторная работа №5

ИСПЫТАНИЯ РЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ

5.1 Цель работы

5.1.1 Изучение видов и методов испытаний на воздействие вибрации, методов измерения параметров вибрации.

5.1.2 Ознакомление с принципом работы и устройством испытательного оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры.

5.1.3 Исследование виброустойчивости РЭС или определение собственных резонансных частот элементов и узлов РЭС.

5.2 Общие сведения об испытаниях на воздействие вибрации

В зависимости от назначения и места установки РЭС может подвергаться различным механическим воздействиям. Наиболее часто РЭС испытывает действие вибрации, которая может возникать при транспортировании, при работе различных механизмов, а также при эксплуатации аппаратуры на подвижных объектах. Вибрационные нагрузки вызывают преимущественно механические напряжения и деформации изделий. Если деформации упругие, то их воздействие может привести к нестабильности параметров изделия за счет появления дополнительного спектра частот возбуждения (виброшумов). После прекращения воздействия вибрации, вызывающей упругие деформации изделий, их функционирование восстанавливается. Но вибрация может вызывать и необратимые изменения первоначально установленных значений параметров регулируемых элементов конструкции РЭС.

Под влиянием даже небольших по амплитуде, но длительных вибрационных нагрузок могут появляться усталостные явления в материалах конструкции, приводящие к выходу из строя или разрушению изделия. Особо опасны явления резонанса, когда собственная частота какой-либо части конструкции изделия находится в пределах спектра частот действующей вибрации, в результате чего нагрузки возрастают во много раз. Это может привести к обрыву выводов элементов, соединительных проводников, нарушению герметизации, возникновению коротких замыканий.

С целью проверки способности РЭС надежно работать в условиях воздействия вибрации и после ее прекращения проводятся испытания на *обнаружение резонансных частот*, на *виброустойчивость* и на *вибропрочность*. Испытания на воздействие вибрации проводят при нормальных климатических условиях, однако допускается повышение температуры окружающей среды из-за выделения тепла стендом с испытываемым изделием до предельно допустимой температуры, указанной в ТУ на данное изделие.

Во всех случаях перед проведением испытаний на вибрационные нагрузки производится проверка внешнего вида изделия и измерение указанных в ТУ и ПИ параметров. Затем изделие жестко крепят на платформе (столе) вибро-

стенда. Выбирая способы закрепления, необходимо учитывать эксплуатационное положение изделия, а также технические характеристики вибростенда. Применяемые способы закрепления, приспособления и оснастка должны обеспечивать передачу вибрационной нагрузки от стола стенда испытываемому образцу без потерь и искажений. При этом если изделие эксплуатируется в нагруженном состоянии, то испытания следует производить, механически (статически) нагружая его.

Испытания на выявление резонансных частот изделия в целом или отдельных его частей проводятся на завершающей стадии разработки конструкции. При испытании направление воздействия вибрации выбирают таким, чтобы исследуемый элемент конструкции изделия колебался с максимальной амплитудой и минимальной собственной частотой. Количество положений, в которых испытывают изделие на обнаружение резонансных частот, и диапазон частот вибраций оговариваются программой испытаний или техническими условиями. Если в ПИ не указывается диапазон частот, резонансные частоты устанавливают в диапазоне от 5 Гц до верхней частоты, указанной в ТУ.

Во время испытания необходимо поддерживать амплитуду колебаний платформы вибростенда не более 1,5 мм, а ускорение – в пределах от 1 до 5 g. При совмещении испытаний на определение резонансных частот с испытаниями на виброустойчивость устанавливают ускорение, указанное для испытаний на виброустойчивость. Поддерживая постоянную амплитуду (или ускорение) вибрации, плавно изменяют частоту со скоростью одной октавы в минуту и с помощью регистратора фиксируют резонансную частоту элемента конструкции.

Резонансные частоты колебаний элементов можно определять визуально для низких частот с помощью микроскопа или другого прибора, а фиксировать момент возникновения резонансных колебаний можно по изменению сигнала с датчика (преобразователя) вольтметром или осциллографом.

Испытания на виброустойчивость проводят с целью проверки способности изделия выполнять свои функции и сохранять параметры при вибрации в определенном диапазоне частот и ускорений в пределах значений, указанных в нормативно-технической документации (НТД). На виброустойчивость изделия испытываются под электрической нагрузкой. Характер электрической нагрузки, а также значения напряжений (токов) указываются в ТУ и должны обеспечивать максимальную эффективность испытаний.

При испытании на виброустойчивость изделия, имеющие собственные виброизоляторы, крепятся на платформе вибростенда на этих виброизоляторах. Испытания проводят при воздействии на изделие вибрации в 2 – 3 взаимно перпендикулярных направлениях. Во время испытания плавно изменяют частоту вибрации в заданном ПИ или ТУ диапазоне частот. Скорость изменения частоты должна быть такой, чтобы время изменения частоты в резонансной полосе частот испытываемых изделий было не меньше времени нарастания амплитуды вибрации изделия при резонансе до установившегося значения и времени окончательного установления подвижной части измерительного или регистрирующего прибора. С другой стороны, уменьшение скорости приводит к увели-

чению продолжительности испытаний, т. е. является экономически невыгодным. Еще одна особенность поддержания режима испытаний заключается в том, что в диапазоне низких частот до 50 Гц или до другой частоты, указываемой в ТУ, устанавливается постоянная амплитуда вибрационных колебаний, а на других, более высоких частотах – постоянное ускорение.

Режим испытаний контролируют с помощью виброизмерительных преобразователей ускорения, устанавливаемых на платформе вибростенда рядом с местами крепления изделия и на самом изделии, а поддерживается он автоматически в заданных пределах в соответствии с программой испытаний.

При испытаниях контролируют работоспособность изделия. Зафиксировав неустойчивое состояние электрического режима испытываемого образца, на этой частоте вибрации изделие выдерживают дополнительно в течение определенного времени (до 5 мин) и выясняют причины неустойчивости.

Испытания на вибропрочность проводят для проверки способности изделий противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свои параметры в пределах, указанных в ПИ или ТУ на изделие. При испытаниях на вибропрочность электрическая нагрузка может подаваться или не подаваться (оговаривается в НТД).

В процессе испытаний на вибропрочность должны выполняться те же правила, что и при испытаниях на виброустойчивость (крепление образцов, направление нагрузки и т. д.). Для оценки результатов испытаний на вибропрочность необходимо не только измерить указываемые в НТД параметры, но и провести проверку на виброустойчивость. Только по совокупности результатов, полученных при измерении электрических параметров, оценке внешнего вида и испытаний на виброустойчивость, можно судить, выдержали исследуемые изделия испытания на вибропрочность или нет.

Испытание на вибропрочность и виброустойчивость осуществляют методами *фиксированных частот, качающейся частоты и воздействием случайной вибрации*. Выбор метода испытаний определяется в зависимости от значения резонансных частот конструкции.

Испытание на виброустойчивость проводят одним из следующих методов:

- испытание на виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации;
- испытание на виброустойчивость при воздействии широкополосной случайной вибрации.

Испытание на вибропрочность проводят одним из следующих методов:

- испытание методом качающейся частоты (стандарт устанавливает 6 методов испытаний в зависимости от значения резонансных частот конструкции);
- испытание методом фиксированных частот во всем диапазоне частот;
- испытание путем воздействия широкополосной случайной вибрации.

Испытания проводят при воздействии вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к изделию, если другие указания по выбору направлений не указаны в НТД. При этом общая продолжительность воздействия вибраций должна поровну распределяться между направлениями

воздействия, при которых проводят испытания. Если известно наиболее опасное направление воздействия вибрации, то испытание рекомендуется проводить только в этом направлении без сокращения общей продолжительности воздействия вибрации.

Сущность метода качающейся частоты заключается в изменении частоты колебаний в заданном диапазоне от минимальной до максимальной и обратно с тем, чтобы последовательно возбуждать резонансные частоты изделия, которые находятся в области частот испытаний. Выбор диапазона частот зависит от резонансных свойств элементов конструкции изделия. Если резонансные частоты исследуемого изделия превышают в 1,5 – 2 раза верхнюю частоту диапазона вибраций по ТУ, испытание на вибропрочность допускается проводить в более узком диапазоне на частотах, наиболее близких к резонансной.

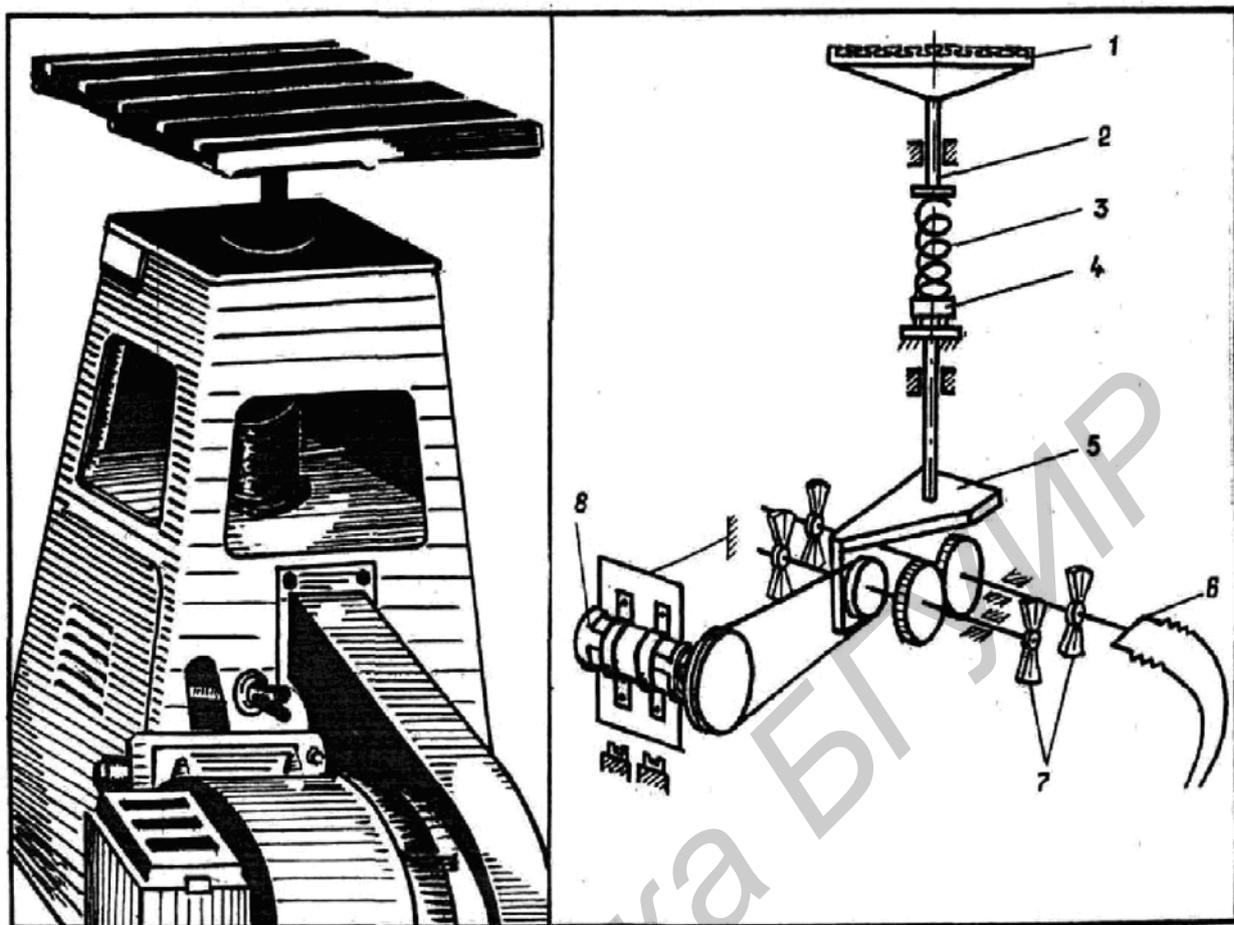
Величина ускорения вибрации, число циклов качания и время прохождения диапазона (в одном направлении) зависят от степени жесткости и условий эксплуатации изделия и указываются в ПИ и ТУ.

Допускается проводить испытания на вибропрочность на любой фиксированной частоте, входящей в рабочий диапазон вибрации и указываемой в ПИ и ТУ. Как правило, общее число колебаний при воздействии вибрации, равное 10^7 , является оптимальным для выявления усталостных свойств материалов.

Метод воздействия случайной вибрации наиболее полно отражает условия эксплуатации РЭС в реальных режимах. Как по частотному спектру, так и по уровню нагрузки такие испытания требуют специально согласованной методики испытаний. Принципиально этот метод не отличается от метода испытаний на качающейся частоте, за исключением характера вибрационных колебаний, значения которых случайны как по частоте, так и по амплитуде (в заданных пределах). В программе и технических условиях указываются спектральная плотность ускорения, диапазон частот вибрации и продолжительность испытаний.

5.3 Испытательное оборудование

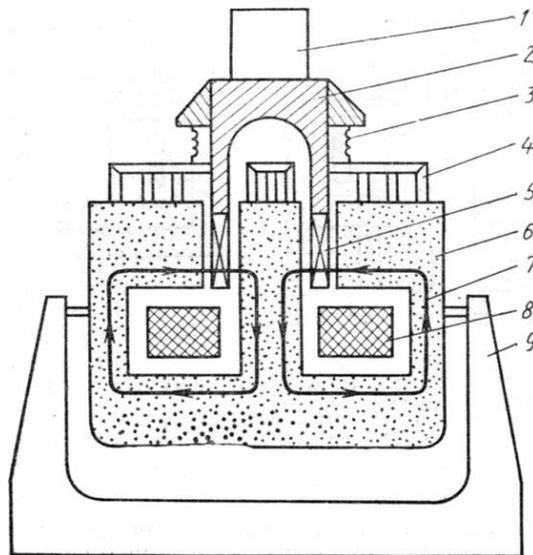
Для создания вибрационных нагрузок используются механические (центробежные – рисунок 5.1) и электродинамические вибростенды (рисунки 5.2 и 5.3). Вибрация рабочего стола центробежного стенда возникает под действием результирующей центробежной силы, образующейся при вращении в противоположных направлениях двух валов с дисбалансами. Амплитуда колебаний зависит от статического момента массы дисбалансов относительно их оси вращения и частоты вращения дисбалансов, а частота вибрации – только от частоты вращения дисбалансов. Вибрационные стенды с центробежным приводом обеспечивают колебания амплитудой до 5 мм и максимальным ускорением до 25 g в диапазоне частот от 20 до 200 Гц.



1 – платформа станда; 2 – шток; 3 – упругий элемент; 4 – регулятор; 5 – направляющая;
6 – фиксатор; 7 – дисбалансы; 8 – электродвигатель

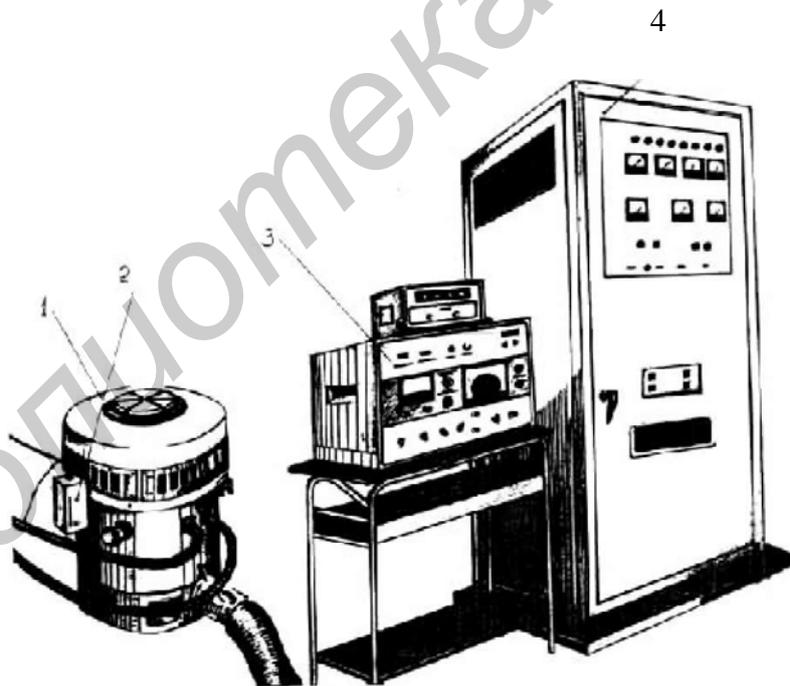
Рисунок 5.1 – Внешний вид и схема центробежного вибродвижителя

Принцип действия электродинамического вибростенда основан на взаимодействии переменного тока, протекающего по обмотке подвижной катушки с постоянным магнитным полем электромагнита. Современные электродинамические вибростенды обеспечивают создание синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 5 Гц до 10 кГц с ускорением до 50 – 100 g или максимальной амплитудой смещения до 10 мм.



1 – испытываемое изделие; 2 – стол вибростенда; 3 – упругая подвеска стола;
4 – магнитный экран; 5 – подвижная катушка; 6 – магнитопровод; 7 – путь магнитного
потока; 8 – катушка подмагничивания; 9 – основание

Рисунок 5.2 – Конструкция электродинамического вибростенда



1 – электродинамический вибростенд; 2 – согласующий усилитель; 3 – система
управления вибрационной установкой (СУВУ); 4 – усилитель

Рисунок 5.3 – Внешний вид электродинамической вибрационной установки

5.4 Задание

5.4.1 Изучите современные методы и средства испытания РЭС и ее элементов на воздействие вибрации.

5.4.2 Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

5.4.3 Ознакомьтесь с назначением, устройством, принципом работы и основными техническими характеристиками испытательного оборудования.

5.4.4 Проведите испытание на обнаружение резонансных частот элементов и узлов РЭС, указанных преподавателем.

5.5 Порядок выполнения работы

5.5.1 Ознакомьтесь с конструкцией и управлением вибростенда и контрольно-измерительной аппаратуры, необходимой для выполнения работы.

5.5.2 Составьте программу испытаний и методику испытаний.

5.5.3 Выполните экспериментальную часть работы.

5.5.4 Подготовьте отчет и защитите работу.

5.6 Содержание отчета

5.6.1 Структурная схема проведения работы, эскиз конструкции вибростенда.

5.6.2 Краткие сведения о методах испытаний на вибрационные нагрузки.

5.6.3 Программа и методика проведения испытаний.

5.6.4 Таблицы экспериментальных данных и расчетов резонансных частот элементов и узлов РЭС.

5.6.5 Анализ полученных результатов. Выводы.

5.7 Контрольные вопросы

5.7.1 Какое влияние оказывает вибрация на РЭС и ее элементы?

5.7.2 Как классифицируются испытания на вибрационные нагрузки?

5.7.3 Каковы различия между испытаниями на виброустойчивость и вибропрочность?

5.7.4 Какими методами испытывается РЭС на вибропрочность?

5.7.5 Поясните принцип работы и устройство электродинамического вибростенда.

5.7.6 Как устроены центробежные вибростенды?

5.7.7 Как измеряются параметры вибрации?

5.7.8 Как определяются резонансные частоты изделий?

Литература

1 Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондрашин ; под ред. В. К. Федорова. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.

2 ГОСТ 20.57.406–81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 192 с.

3 Глудкин, О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС / О. П. Глудкин. – М. : Высш. шк., 1991. – 335 с.

4 Испытание радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / под ред. А. И. Коробова. – М. : Радио и связь, 1987. – 275 с.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №6

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

6.1 Цель работы

6.1.1 Изучение методов оценки качества промышленной продукции.

6.1.2 Проведение оценки качества промышленной продукции различными методами.

6.2 Краткие теоретические сведения

Под оценкой уровня качества промышленной продукции понимают результат оценивания, т. е. сопоставления показателей качества (ПК) оцениваемой продукции с базовыми значениями.

Квалиметрия – это наука об измерении и количественной оценке качественных показателей. В основе квалиметрии лежат 4 основных исходных положения:

- качество зависит от ряда свойств, образующих древо качества, т. е. необходимо найти составляющие элементы данного качества, их оценить, затем дать оценку всему показателю;

- любое качество или его элементы можно измерить с помощью экспертов, применив специально разработанные шкалы;

- каждое свойство (качество) определяется двумя числами: *относительным показателем К* и *вместимостью М*. Относительный показатель характеризует выявленный уровень измеряемого свойства, а вместимость – сравнительную важность разных показателей. Сумма вместимостей свойств на каждом уровне равна единице.

В свою очередь методические приемы квалиметрии делятся на 2 группы:

- эвристические (интуитивные), основаны на экспертных оценках и анкетировании;

- инструментальные, основаны на применении технических средств.

Используют следующие формы предоставления оценки уровня качества:

- количественная форма оценки – выражается одним числом, которое представляет собой значение комплексного ПК, отражающего определенную совокупность свойств продукции;

- качественная форма оценки – выражается в виде утверждения о том, соответствует продукция по рассматриваемой совокупности свойств уровню требований определенного рынка, превосходит их или уступает им.

6.3 Этапы оценки уровня качества продукции

Оценку уровня качества продукции проводят для следующих целей:

- аттестации продукции;

- выборе наилучшего варианта изготовления продукции;

- планировании повышения уровня качества продукции;

- анализе динамики уровня качества продукции;
- контроле качества продукции.

Основные этапы оценки уровня качества продукции представлены на рисунке 6.1.

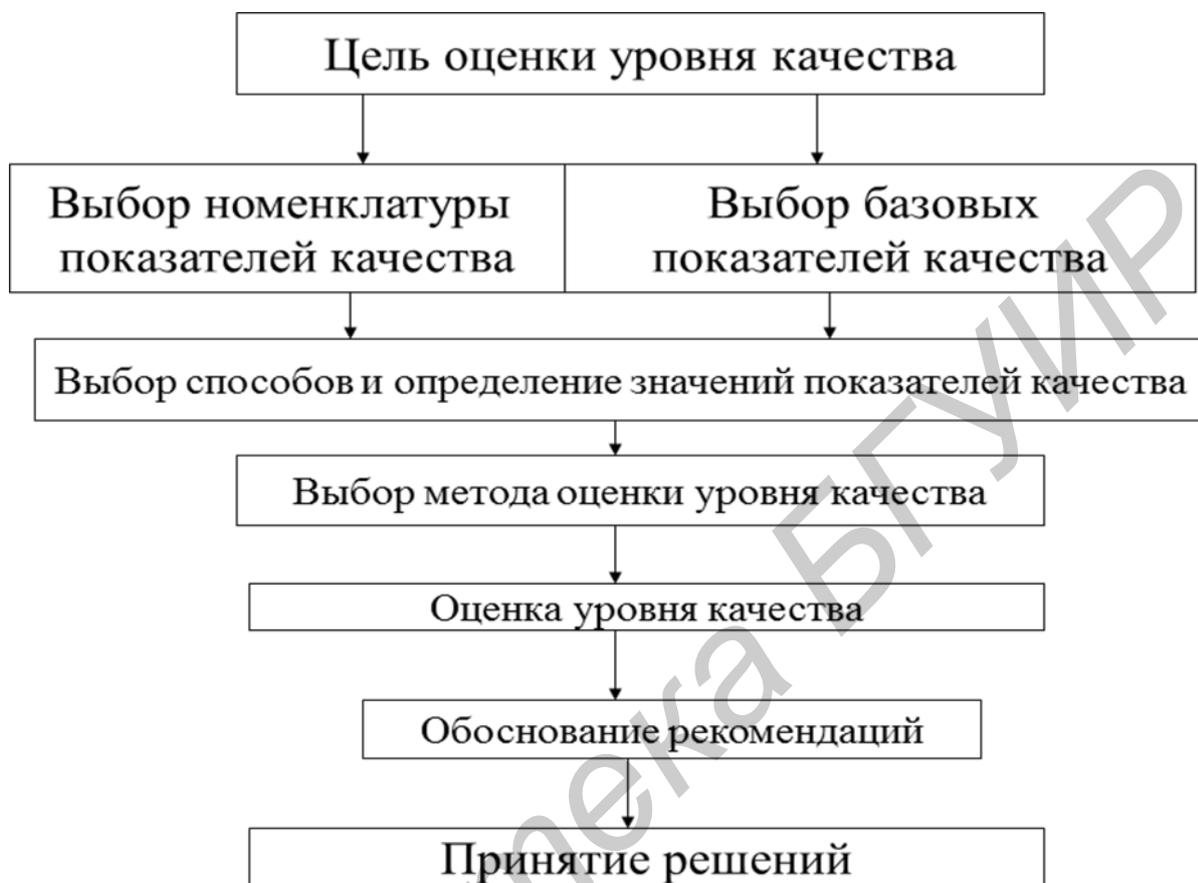


Рисунок 6.1 – Этапы оценки уровня качества продукции

Под номенклатурой ПК в общем виде понимают перечень показателей, подразделенных на взаимосвязанные уровни:

- типовая – это полный перечень всех групп и конкретных ПК, относящихся к любым техническим изделиям производственного назначения или к промышленным изделиям общепотребительского использования;
- развернутая – используется при оценке качества определенной группы изделий, имеющих одно название, одинаковую или близкую функцию и сходные параметры свойств;
- конкретная – используется для характеристики отдельного товара или нескольких однотипных изделий.

Базовый образец – это образец продукции, представляющий передовые научно-технические достижения и выделяемый из аналогов оцениваемой продукции. Существует три типа базовых образцов в зависимости от цели оценки:

- базовые образцы, отражающие перспективные требования, установленные на будущий период, в соответствии с которыми разрабатывается новая промышленная продукция;

- базовые образцы, отражающие высший мировой уровень на настоящий период времени (лучшие реальные образцы);

- базовые образцы отечественного производства, отражающие наиболее высокие научно-технические достижения и соответствующие потребностям и возможностям общества в целом (реальные образцы).

В квалиметрии признается точка зрения, согласно которой показатели качества продукции могут быть измеряемыми и неизмеряемыми;

- измеряемые показатели качества – показатели, значения которых определяются в результате измерений и могут быть выражены в количественной форме;

- неизмеряемые показатели качества выражаются в качественных описаниях и не имеют численных значений.

Измерение – это сравнение одного показателя с другим. При сравнении можно использовать три шкалы: *шкалу уровней*, *шкалу порядка* и *шкалу отношений*. При использовании шкалы уровней с принятой величиной уровня Q сравниваются все остальные величины Q по принципу

$$Q_i - Q = \Delta Q, \quad (6.1)$$

где Q_i – измеренная величина;

Q – эталонная величина.

При измерениях с использованием шкалы порядка результатом измерения является решение в виде ранжированного ряда объектов сравнения:

$$Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 < Q_5, \quad (6.2)$$

При измерениях по шкале отношений измеряемые величины сравнивают по принципу

$$\frac{Q_i}{Q} = q. \quad (6.3)$$

Классификация методов определения фактических численных значений показателей качества приведена на рисунке 6.2.



Рисунок 6.2 – Методы определения фактических численных значений показателей качества

Методы оценки показателей качества в зависимости от источников получения информации и состава проводимых операций оценки делят на две группы: аналитико-эвристические и операционные. К первой группе относят экспертные, расчетно-инструментальные, социологические, комбинированные методы; ко второй группе – дифференциальный, комплексный и смешанный методы.

6.4 Методы определения численных значений показателей качества

Дифференциальный метод оценки уровня качества основан на использовании единичных показателей качества путем сопоставления оцениваемых изделий с соответствующими показателями базового образца:

$$Y_{ki} = \frac{P_i}{P_{i0}}, \quad (6.4)$$

$$Y_{ki} = \frac{P_{i0}}{P_i}, \text{ при } i = 1, 2, \dots, n, \quad (6.5)$$

$$Y_{ki} = \frac{P_i - P_{npi}}{P_{i0} - P_{npi}}, \quad (6.6)$$

где P_{npi} – предельное значение i -го параметра качества;

P_i – значение i -го показателя качества оцениваемой продукции;

P_{i0} – значение i -го показателя качества базового образца.

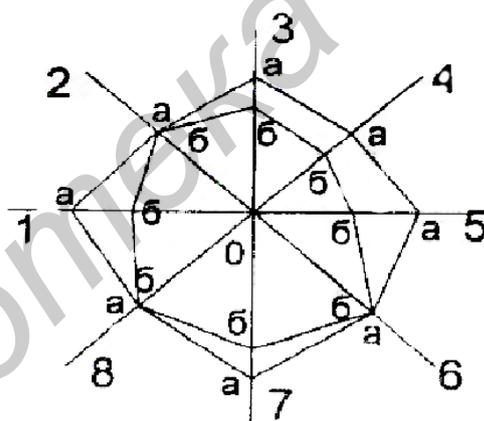
По результатам расчетов относительных значений показателей качества делают следующие выводы:

- уровень качества оцениваемой продукции выше уровня базового образца, если все значения Y_{ki} больше или равны 1;

- уровень качества равен уровню базового образца, если все значения Y_{ki} равны единице;

- уровень качества оцениваемой продукции ниже уровня базового образца, если все значения Y_{ki} меньше или равны единице.

Для более точной и информативной оценки технического уровня (ТУ) строят диаграмму сопоставления ПК (циклограмму), где наглядно видно, по какому ПК следует принимать решения, рисунок 6.3.



- 1 – производительность; 2 – массогабаритные показатели; 3 – коэффициент механизации и автоматизации; 4 – показатели надежности; 5 – выход готового продукта; 6 – удельная занимаемая площадь; 7 – эстетические показатели; 8 – потребляемая электрическая мощность

Рисунок 6.3 – Циклограмма для определения ТУ изделий

Комплексный метод оценки уровня качества предусматривает использование обобщенного показателя качества. Обобщенным ПК могут быть:

- главный, наиболее значимый единичный показатель, отражающий основное назначение продукции;
- средневзвешенный комплексный ПК;
- интегральный показатель качества.

Комплексную оценку с использованием главного потребительского показателя качества проводят при наличии установленной расчетным или экспериментальным путем зависимости значения этого показателя от значений исходных показателей, характеризующих технические показатели данного товара. Уровень качества определяется отношением обобщенного показателя качества оцениваемой продукции к обобщенному показателю базового изделия:

$$Y_k = \frac{Q_{\text{оц}}}{Q_{\text{б}}} \quad (6.7)$$

Комплексную оценку по средневзвешенным показателям качества продукции применяют тогда, когда затруднительно определить главный, обобщающий ПК и его зависимость от исходного ПК. Используют средневзвешенный арифметический или средневзвешенный геометрический ПК:

$$U = P \sum_{i=1}^n m_{iU} p_i \quad (6.8)$$

$$V = \prod_{i=1}^n (p_i)^{m_{iV}} \quad (6.9)$$

где P_i – значение i -го показателя качества;

m_{iU} – параметр весомости i -го показателя, входящего в средневзвешенный арифметический показатель;

m_{iV} – параметр весомости i -го показателя, входящего в средневзвешенный геометрический показатель.

Уровень качества продукции или технический уровень может быть оценен как

$$Y_T = \frac{U}{U_{\text{б}}} \quad (6.10)$$

$$Y_T = \frac{V}{V_{\text{б}}} \quad (6.11)$$

Для определения весомости или значимости показателей качества используют чаще всего экспертный метод. В общем случае

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1. \quad (6.12)$$

Комплексная оценка с использованием интегрального показателя качества основана на сопоставлении суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции и суммарных затрат на создание и эксплуатацию или потребление продукции:

$$J = \frac{\mathcal{E}}{(Z_c + Z_3)}, \quad (6.13)$$

где Z_c – капитальные затраты на создание продукции;

Z_3 – сумма текущих затрат на эксплуатацию или потребление продукции за срок ее службы.

Смешанный метод оценки уровня качества продукции используют в том случае, когда единичных показателей качества достаточно много, они разнообразны, а анализ значений каждого показателя затруднителен, что не дает возможности сделать обобщающий вывод о качестве продукции или когда обобщающий ПК, определяемый комплексным методом, недостаточно полно учитывает все значимые свойства продукции.

Сущность и последовательность смешанного метода оценки состоит в следующем:

- все или часть единичных ПК объединяют в группы и определяют комплексный (групповой) ПК. Наиболее значимые единичные ПК в группы можно не включать, а рассматривать их самостоятельно наряду с групповыми;

- на основе полученной совокупности численных значений единичных и комплексных ПК производят оценку уровня качества продукции дифференциальным методом.

6.5 Экспертные методы оценки качества продукции

Под экспертными методами понимают комплекс логических и математико-статистических процедур, направленных на получение от специалистов информации о качестве продукции, ее анализ и обобщение с целью подготовки и выбора рациональных решений. Экспертные методы применимы в том случае, когда выбор и обоснование результата оценки не могут быть выполнены на основании точных измерений или расчетов.

Экспертной называется оценка, получаемая путем опроса мнений специалистов. Независимо от целей и задач применение экспертных методов предполагает соблюдение следующих условий:

- экспертная оценка должна производиться только в том случае, когда нельзя использовать для решения вопроса более объективные методы;
- в работе экспертной комиссии не должно присутствовать факторов, которые могли бы влиять на искренность суждений экспертов, мнения экспертов должны быть независимыми;
- вопросы, поставленные перед экспертами, не должны допускать различного толкования;
- эксперты должны быть компетентны в решаемых вопросах;
- количество экспертов должно быть оптимальным;
- ответы экспертов должны быть однозначными и обеспечивать возможность их математической обработки.

Существует два подхода к выбору экспертов:

- проводятся специальные экзамены, а также применяется самооценка экспертов;
- определяется эффективность деятельности экспертов.

Различают абсолютную и относительную эффективность деятельности экспертов. Абсолютная – отношение правильно высказанных мнений к общему числу высказываний эксперта. Относительная – отношение абсолютной эффективности к средней абсолютной эффективности группы экспертов.

Проведение экспертизы включает в себя следующие этапы:

- формирование цели экспертизы;
- подбор экспертов;
- выбор методики проведения экспертизы;
- обработка полученной информации, в том числе проверка согласованности и достоверности индивидуальных экспертных оценок.

При формировании экспертной группы целесообразно провести тестирование, взаимооценку экспертов и проверку согласованности мнений.

Тестирование состоит в решении экспертами задач с известными организаторам результатами тестирования, но неизвестными экспертам и проверке по критерию Фишера гипотезы о принадлежности оценок разных экспертов к одной и той же генеральной совокупности оценок.

Самооценка состоит в том, что каждый эксперт в ограниченное время отвечает на вопросы специально составленной анкеты. Такое испытание проводят на компьютере и затем получают балльную оценку. Эксперты могут оценивать и друг друга, но для этого необходима доверительная обстановка и опыт совместной работы.

Согласованность мнений экспертов можно оценить по величине коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)}, \quad (6.14)$$

где S – сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта экспертизы от среднего значения;

n – число экспертов;
 m – число объектов экспертизы.

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне $0 < W < 1$, причем 0 – полная несогласованность, 1 – полное единодушие. С ростом числа экспертов в группе точность измерений повышается.

Количество экспертов, обеспечивающее заданную точность измерений, можно установить, зная закон распределения мнений экспертов и максимально допустимую стандартную ошибку оценки S_x . Тогда, используя известное выражение, можно определить минимальное количество экспертов, обеспечивающее заданную точность измерения:

$$n = \sqrt{\frac{S_x}{S}}, \quad (6.15)$$

где S – стандартное среднеквадратичное отклонение.

Наиболее распространенными экспертными методами при классификации по признаку оценки предпочтений являются:

- метод рангов;
- метод непосредственного оценивания;
- метод сопоставлений:
 - а) парного сравнения;
 - б) последовательного сопоставления.

6.6 Метод рангов

Производят ранжирование (упорядочение) исследуемых объектов организованной системы в зависимости от их относительной значимости.

При этом наиболее предпочтительному объекту обычно присваивается первый ранг, а наименее предпочтительному – последний, равный по абсолютной величине числу упорядоченных объектов.

Таблица 6.1 – Определение результирующего ранга объектов ранжирования

Объект ранжирования, №	Эксперт №							Сумма рангов объектов	Результирующий ранг объекта
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1	2	2	1	2	1	2	11	2
2	2	1	1	1	2	2	1	10	1
3	3	2	3	1	3	3	2	17	3

6.7 Метод непосредственного оценивания

Представляет собой упорядочение исследуемых объектов в зависимости от их важности путем приписывания баллов каждому из них.

Таблица 6.2 – Определение результатов непосредственного оценивания объектов

Объект ранжирования, №	Эксперт №							Сумма рангов объектов	Результующий ранг объекта	Весомость объекта
	1	2	3	4	5	6	7			
1	7	6	5	6	4	7	8	43	2	0,36
2	9	10	8	7	5	8	10	57	1	0,47
3	4	1	2	4	3	5	2	21	3	0,17

По результатам оценок экспертов место любого объекта можно определить по формуле

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{j=1}^k A_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k A_{ij}}, \quad (6.16)$$

где V_i – значимость i -го объекта ($i = 1, 2, 3 \dots n$), рассчитанная на основании мнений экспертов ($j = 1, 2, 3, \dots k$);

A_{ij} – оценка (в баллах), данная i -му объекту j -м экспертом.

6.8 Метод попарного сравнения

В основе метода лежит использование шкалы порядка, т. е. вопрос сравнения решается по принципу «лучше или хуже», «больше или меньше». Предпочтение одного объекта перед другим можно обозначать 1, обратную ситуацию – 0. Пример ранжирования шести объектов путем попарного сравнения представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Ранжирование объектов путем попарного сравнения

Номер объекта	1	2	3	4	5	6	Итого
1	x	1	0	1	1	1	4
2	0	x	0	1	1	1	4
3	1	1	x	1	1	1	5
4	0	0	0	x	0	0	0
5	0	0	0	1	x	0	1
6	0	0	0	1	1	x	2

Ранжированный ряд для объектов, сравнительная оценка которых приведена в таблице 6.3 будет иметь вид

$$Q_4 < Q_5 < Q_6 < Q_2 = Q_1 < Q_3. \quad (6.17)$$

При попарном сравнении можно использовать более совершенные критерии, например, преимущество определять оценкой 1, худшее качество оценивать оценкой –1, а равновесное – оценкой 0.

6.9 Порядок выполнения работы

6.9.1 Получите задание у преподавателя.

6.9.2 В соответствии с заданием каждому члену бригады необходимо индивидуально произвести оценку уровня качества продукции одним из экспертных методов.

6.9.3 При оценке уровня качества необходимо учесть не менее пяти наиболее значимых показателей качества продукции.

6.9.4 Оцените согласованность мнений экспертов (членов бригады). Результаты оценки занести в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты оценки уровня качества продукции

Номер объекта экспертизы	Оценка эксперта				Сумма рангов	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
	1	2	3	4			
1							

6.9.5 Проведите анализ полученных результатов. Сделайте выводы.

6.10 Содержание отчета

6.10.1 Титульный лист.

6.10.2 Краткие сведения о методах оценки уровня качества продукции.

6.10.3 Результаты оценки уровня качества продукции различными экспертными методами.

6.10.4 Оценка согласованности мнений экспертов.

6.10.5 Анализ полученных результатов.

6.10.6 Выводы.

6.11 Контрольные вопросы

6.11.1 Что такое оценка качества продукции и с какой целью она проводится?

6.11.2 Этапы оценки качества продукции.

6.11.3 Что такое номенклатура ПК? Назовите ПК для конкретных РЭС.

6.11.4 Что такое базовый образец? Назовите типы базовых образцов.

6.11.5 Перечислите методы определения численных значений ПК.

6.11.6 В чем сущность дифференциального метода оценки качества продукции?

6.11.7 Комплексный и смешанный методы оценки качества продукции.

6.11.8 Каким образом можно оценить согласованность мнений экспертов.

Литература

Басовский, Л. Е. Управление качеством : учебник / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 212 с.

Учебное издание

Гурский Михаил Семенович

**ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор *Е. И. Герман*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *М. В. Гуртатовская*

Подписано в печать 27.11.2014. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 120 экз. Заказ 245.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6