

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Л.Н. Никитин А.Н. Лукин В.Н. Семенов

ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ПРИБОРОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Утверждено учебно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2017

УДК 621.3.049

Никитин Л.Н., Лукин А.Н., Семенов В.Н. испытания, контроль и диагностика приборов и электронных средств. учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные () - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв. – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024x76; MS Word 2007 или более поздняя версия; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана.

В учебном пособии изложены общие вопросы испытаний приборов и электронных средств (ЭС), представлена информация о классификации электронной аппаратуры (ЭА), о факторах, определяющих надежность ЭА, о методике испытаний ЭА в процессе проектирования и производства. В разделе автоматизированных систем испытания и контроля ЭА представлены такие виды обеспечения, как программное, математическое, техническое.

Табл. 20. Ил. 49. Библиогр.: 4 назв.

Рецензенты: ОАО "Видеофон" (ген. директор
канд. техн. наук, доц. С.Д. Кретов);

© Лукин А.Н., Семенов В.Н.,
Никитин Л.Н., 2017
© Оформление. ГОУВПО
"Воронежский государственный
технический университет", 2017

ВВЕДЕНИЕ

Целью учебного пособия является обобщение и систематизация учебно-методического обеспечения для студентов университета. В учебном пособии отражена методика изучения курса, изложены теоретические основы, необходимые для его успешного освоения в комплексе с задачами, примерами, лабораторными работами.

Необходимость испытаний приборов и ЭС определяется тем, что из-за исключительной сложности конструкции и большого числа взаимосвязанных между собой параметров и характеристик изделия ЭА нельзя при выборе проектных, технологических и эксплуатационных решений полагаться только на априорные представления и теоретические предположения об их изменениях в различных условиях эксплуатации. Для подтверждения правильности выбранных и принятых новых решений необходим эксперимент-испытание.

Испытания относятся к числу наиболее ответственных и трудоемких этапов проектирования, производства и эксплуатации ЭА. Они классифицируются по видам и назначению, объему и содержанию, месту проведения и регламентируются соответствующими ГОСТами и ОСТами.

Радиоэлектронная аппаратура в процессе эксплуатации подвергается воздействию окружающей среды. Среди множества факторов влияющих на работоспособность ЭА можно выделить три вида воздействия характерных для любого климатического пояса - это воздействие положительной и отрицательной температуры и повышенной влажности. Под влиянием отмеченных факторов в материалах и элементах ЭА протекают сложные физико-технические процессы, изменяющие их свойства и способствующие отказам.

В связи с этим явилось необходимым:

- изучить влияние положительной и отрицательной температуры и влажности на изменение параметров электро-радиоэлементов и радиоматериалов и работоспособность ЭА в целом;

- ознакомиться с принципом работы и конструкциями камер предназначенных для испытания ЭА на воздействие положительных и отрицательных температур и влаги в автоматизированном режиме; провести испытание ЭА на воздействие повышенных и пониженных температур и влаги в автоматизированном режиме.

Анализ технологических процессов испытаний и практика их проведения позволяют выделить характерные для всех видов испытания этапы, а именно: подготовку объекта и оборудования к испытаниям и собственно испытания. К последним относится управление процессом испытаний; измерение физических параметров объекта испытаний и внешних воздействий; обработка результатов измерений; анализ состояния объекта испытаний; выработка рекомендаций по корректировке проектных решений; регулировка; диагностирование и поиск неисправностей объекта испытаний; регистрация результатов или документирование технологического процесса испытаний.

Все перечисленные этапы состоят из сложных и трудоемких информационно-измерительных и управляющих процессов. Успешная их реализация невозможна без знания и правильного использования испытательного оборудования.

Выполнение расчётных и лабораторных заданий предусматривает изучение студентами заданий, связанных с ознакомлением технических условий (ТУ), технического задания (ТЗ), изучение проведения приемно-сдаточных испытаний, типов испытаний, испытаний на надежность и т.д.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРОВ И ЭС

1.1. Классификация приборов и ЭС

Выбор и осуществление оптимальных методов контроля и испытаний электронной аппаратуры (ЭА) зависят от ее назначения, места установки, транспортирования и климатических условий эксплуатации, определяющих воздействие различных внешних факторов [1].

По назначению радиоэлектронная аппаратура может быть радиовещательной, связной, радионавигационной, радиолокационной, радиотелеметрической, телевизионной, медицинской, радиоизмерительной, предназначенной для управления и автоматизации процессов промышленного производства, и т. д.

По месту установки различают следующие виды РЭА: наземная, самолетная, корабельная и на борту ракет (космических кораблей). В свою очередь наземная РЭА бывает стационарной, автомобильной, железнодорожной, танковой, переносной, перевозимой и т.д. Следует учитывать, что стационарная аппаратура может устанавливаться в отапливаемых и вентилируемых помещениях, на открытом воздухе, в производственных помещениях и т. п. Требования, предъявляемые к самолетной и корабельной аппаратуре, определяются классом самолета или корабля, на котором она должна устанавливаться. Специфическими являются требования к аппаратуре, устанавливаемой на ракетах, воздушных шарах, шарах-зондах и на подводных лодках.

Внешние воздействия на радиоэлектронную аппаратуру определяются климатическими условиями и механическими воздействиями, которым она подвергается в процессе эксплуатации и транспортирования. Поэтому при

конструировании и испытаниях ЭА необходим тщательный учет всех воздействий.

Радиоэлектронной аппаратурой, или системой, принято называть совокупность совместно действующих объектов (технических устройств), которая имеет самостоятельное эксплуатационное назначение. Часть системы, предназначенная для выполнения определенной функции и не имеющая самостоятельного эксплуатационного назначения, называется элементом.

Элементы бывают типовыми и специальными. Типовые изготавливаются в соответствии со стандартами и нормами, специализированными предприятиями в массовых количествах. К таким элементам относятся резисторы, конденсаторы, электровакуумные приборы, транзисторы, реле и т. д. Специальные элементы изготавливаются мелкими сериями и предназначаются для использования в определенной аппаратуре. К таким элементам относятся специальные микромодули, трансформаторы, линии задержки и т. д. Различают восстанавливаемые и невосстанавливаемые системы и элементы. Система (элемент), которая в случае возникновения отказа подлежит ремонту и может быть восстановлена, называется восстанавливаемой. Система (элемент), которая в случае возникновения отказа не поддается ремонту по техническим или экономическим соображениям, называется невосстанавливаемой.

По способу применения радиоэлектронные системы могут быть однократного и многократного действия. Системы однократного действия не подлежат ремонту в процессе эксплуатации. Примером таких систем может быть оборудование ракет.

Невосстанавливаемые системы обычно являются системами однократного действия. Системы многократного

действия предназначены для длительной работы, и они подлежат контролю и ремонту в процессе эксплуатации. В состав этих систем могут входить элементы (блоки и узлы) однократного действия.

При эксплуатации аппаратуры однократного действия отказы практически недопустимы, так как в противном случае она не выполнит своей основной задачи. Часто использованию аппаратуры предшествует хранение различной длительности, во время которого она может подвергаться контролю и испытаниям. Если при этом будут обнаружены отказы, то аппаратура может быть восстановлена. Таким образом, в режиме хранения аппаратура однократного действия может рассматриваться как восстанавливаемая.

1.2. Надежность приборов и ЭС

Основным требованием, предъявляемым к современной радиоэлектронной аппаратуре, является пригодность использования ее по назначению в заданных условиях. Совокупность свойств, определяющих степень пригодности, характеризуется качеством. Составной частью качества является надежность, в понятие которой включается некоторая часть свойств, определяющих качество. Под надежностью принято понимать совокупность свойств, обеспечивающих безотказность, ремонтпригодность и долговечность ЭА. Понятие безотказность предусматривает свойство системы сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях эксплуатации. Данное понятие тесно связано с другим важнейшим понятием теории надежности - отказом, определяющим полную или частичную утрату работоспособности ЭА.

Более широким понятием, чем отказ, можно считать

неисправность. Под неисправностью понимают такое состояние ЭА, при котором хотя бы один ее основной параметр не соответствует установленному эксплуатационному допуску (основная неисправность) или когда имеет место ухудшение или нарушение второстепенных параметров, таких как удобство эксплуатации, внешний вид и т. п. (второстепенная неисправность или дефект). Следует отметить, что отказ является следствием только основной неисправности.

Приспособленность системы к предупреждению, обнаружению и устранению отказов характеризуется ремонтпригодностью. Количественно ремонтпригодность оценивается затратами времени и средств на диагностику отказов с учетом необходимой квалификации обслуживающего персонала.

Восстанавливаемые и невосстанавливаемые системы и элементы не могут эксплуатироваться бесконечно долго. С течением времени происходит износ и старение элементов и систем, приводящие к отказам.

Для восстанавливаемых элементов суммарную наработку от начала эксплуатации (испытаний) до момента возникновения отказа, обусловленного основной неисправностью, принято называть долговечностью. При рассмотрении восстанавливаемых систем (элементов) в понятие долговечность вкладывается несколько иной смысл.

Долговечность восстанавливаемых систем зависит от долговечности входящих в нее элементов, технологии изготовления и условий эксплуатации.

Очевидно, что долговечность восстанавливаемых систем тем выше, чем больше долговечность входящих в нее невосстанавливаемых элементов. Долговечность восстанавливаемых систем ограничивается соображениями технической и экономической целесообразности их

дальнейшего использования. При этом восстанавливаемые системы могут иметь большое число отказов за время эксплуатации, для устранения которых осуществляют ремонт ЭА, сопровождаемый заменой отказавших элементов новыми.

Суммарная наработка восстанавливаемых систем (элементов) от начала эксплуатации до ее прекращения обусловленная изнашиванием и (или) старением, называется техническим ресурсом. Суммарная наработка, характеризующая технический ресурс, меньше суммарной наработки, характеризующей долговечность. Принято считать, что ремонт ЭА, израсходовавший свой технический ресурс, экономически нецелесообразен. Помимо понятий долговечность и технический ресурс, характеризующих надежность ЭА, существует понятие гарантийный срок службы, устанавливающее взаимоотношения между заказчиком и поставщиком. Гарантийный срок службы всегда меньше долговечности и технического ресурса. Если в течение гарантийного срока службы происходит отказ, то юридическую ответственность за это несет поставщик, который должен выполнить ремонт отказавшей ЭА или, в случае невозможности ремонта, заменить ее исправной.

По истечении гарантийного срока службы предприятие-изготовитель не несет ответственности за отказы ЭА, но при этом не исключается, что система должна быть надежной и технически пригодной для дальнейшей эксплуатации. Для количественной оценки рассмотренных свойств надежности пользуются рядом параметров и вероятностными характеристиками, полученными на основании сбора статистических данных об отказах.

С целью правильного группирования статистических данных об отказах, однозначности их определения и удобства анализа необходимо классифицировать все виды отказов по

ряду признаков. Наличие такой классификации способствует правильной организации и проведению испытаний приборов и ЭС. Все виды отказов в зависимости от характера изменения выходных параметров ЭА (элементов) во времени до момента возникновения отказа можно подразделить на постепенные и внезапные.

Постепенные отказы возникают в результате постепенного, а внезапные - скачкообразного изменения одного или нескольких основных параметров системы. При постепенных отказах изменение параметров во время эксплуатации или хранения происходит относительно медленно, что позволяет прогнозировать отказы. При внезапных отказах изменения свойств элементов и аппаратов происходят быстро, что исключает возможность их предварительного обнаружения. Причинами возникновения отказов могут быть: ошибки конструктора и несовершенство методов конструирования (конструкционный отказ); нарушения установленного технологического процесса производства или его несовершенство (технологический отказ); внешние воздействия, превышающие установленную для данной аппаратуры норму, а также нарушение правил эксплуатации (эксплуатационный отказ). Отказы, возникающие по любой из указанных выше причин, можно считать независимыми, в отличие от зависимых, причиной которых являются ранее возникшие отказы.

Отказы могут возникать при испытаниях ЭА, в период приработки, во время нормальной эксплуатации и на последнем ее периоде.

По наличию внешних проявлений отказы могут быть явными и неявными. Первые обычно легко обнаруживаются при внешнем осмотре или при включении аппаратуры, в то время как для обнаружения вторых требуется затрачивать

много времени и проводить специальные измерения. В зависимости от возможности последующего использования РЭА после возникновения отказов различают полные отказы, до устранения которых использование аппаратуры оказывается невозможным, и частичные, приводящие к частичному ухудшению работоспособности.

В отличие от устойчивых отказов, устраняемых в процессе ремонта, иногда возникают самоустраняющиеся отказы. Продолжительность действия таких отказов мала (единицы и доли секунды) по сравнению с длительностью работы до следующего отказа. Эти отказы называют сбоями. Причинами сбоев могут являться действие различных помех и внутренние шумы. Ряд сбоев, быстро следующих друг за другом, вызывают перемежающийся отказ. Примерами таких отказов могут быть искрение и пробой, возникающие в высоковольтной аппаратуре под действием влаги или ионизирующих факторов.

Для обеспечения заданной надежности ЭА и ее элементы подвергают контролю или испытаниям на этапах конструирования, производства и эксплуатации. В дальнейшем контролем будем называть процесс установления соответствия между состоянием объекта контроля и заданной нормой путем восприятия контролируемых параметров и выдачи суждения о результате.

Испытанием будем называть процесс определения параметров ЭА (элементов) по установленной методике с целью оценки их соответствия требованиям технических условий (ТУ).

Контроль отличается от процесса испытания тем, что он может быть как специально предусмотрен, так и производиться в случае необходимости в период отработки схемы, в ходе технологического процесса производства и во время

эксплуатации. При этом ЭА и их элементы находятся в ничем не predetermined условиях окружающей среды. Чаще всего они бывают близкими к нормальным условиям эксплуатации. Обычно в процессе контроля параметры окружающей среды не контролируются. Наиболее широко применяется контроль в процессе производства. Одной из задач осуществления контроля является необходимость выявления причин возникновения неисправностей.

Проведение испытаний строго регламентировано по периодичности, объему, условиям их осуществления и целому ряду других показателей. Различают испытания на функционирование, на воздействие окружающей среды и на надежность.

Важнейшим требованием к проведению любых из указанных испытаний является обеспечение строгого соответствия условий окружающей среды заданным.

Различие указанных видов испытаний состоит в том, что при испытаниях на функционирование определяют заданные параметры изделия при работе в течение короткого интервала времени в определенных условиях; при испытаниях на воздействие окружающей среды определяют параметры при экстремальных характеристиках климатических условий и механических воздействий; при испытаниях на надежность определяют значения параметров надежности по установленной методике при работе изделия в заданном интервале времени, в определенных условиях, с целью оценки их соответствия требованиям ТУ.

1.3. Факторы, определяющие надежность приборов и ЭС

Обеспечение высокой надежности приборов и электронных требует знания и анализа факторов, от которых она

зависит. Задача заключается в том, что необходимо получать не только статистические данные об отказах, но и анализировать причины их возникновения, оценивать запасы прочности и устойчивости систем, их способность к нормальному функционированию при отдельных ошибках обслуживающего персонала, а также при различных внешних воздействиях. При этом следует исследовать физико-химические процессы, происходящие как в элементах, так и в системе в целом на всех стадиях производства и эксплуатации ЭА. Источниками необходимых сведений для оценки надежности является реальная эксплуатация и испытания приборов и ЭС

Рассмотрение факторов, определяющих надежность приборов и ЭС, позволяет правильно организовать контроль и испытания на этапах конструирования, производства и эксплуатации.

На этапе конструирования над разработкой ЭС работает коллектив, и ошибки одного исполнителя оказывают относительно слабое влияние на принятие окончательного решения, так как они могут быть устранены другими.

На этапе производства осуществление контроля и испытания готовых приборов и ЭС позволяют повысить надежность. При этом повышению надежности способствует применение средств автоматизации, уменьшающих влияние человека, повышение квалификации рабочих и инженерно-технического персонала, а также улучшение условий труда.

На этапе эксплуатации надежность приборов и ЭС зависит от субъективных и объективных факторов. К субъективным факторам относят работу обслуживающего персонала, по вине которого, как показывает статистика, происходит 20—30% отказов. К объективным относят факторы, которые можно подразделить на внешние,

приводящие к отказам по причинам, не зависящим от самой аппаратуры, и внутренние, зависящие от особенностей работы аппаратуры и входящих в нее элементов.

К внешним факторам относят действие окружающей среды (климатические воздействия), особенности эксплуатации, связанные с местом установки приборов и ЭС (механические воздействия), а также режимы работы. В данном случае под режимом работы следует понимать частоту включений и переключений, при которых в аппаратуре могут возникать переходные процессы, перенапряжения, толчки тока и т. д.

Частые включения и выключения влияют на механический износ ряда элементов. В некоторых видах аппаратуры, предназначенных для циклической работы, существенное влияние на тепловой режим оказывает соотношение длительной работы и перерывов.

К внутренним факторам относятся процессы старения и износа. Процессы старения происходят непрерывно, причем они совершаются как во время работы, так и во время хранения ЭА. Износ в основном имеет место в процессе эксплуатации и зависит от воздействия ряда внешних факторов и от режимов работы ЭА, причем вероятность влияния внешних факторов возрастает по мере увеличения длительности эксплуатации и при нарушении режимов работы. Многообразие воздействующих на ЭА факторов и их взаимосвязь не позволяют утверждать, что приводимая на рис. 1.1 классификация является достаточно полной.

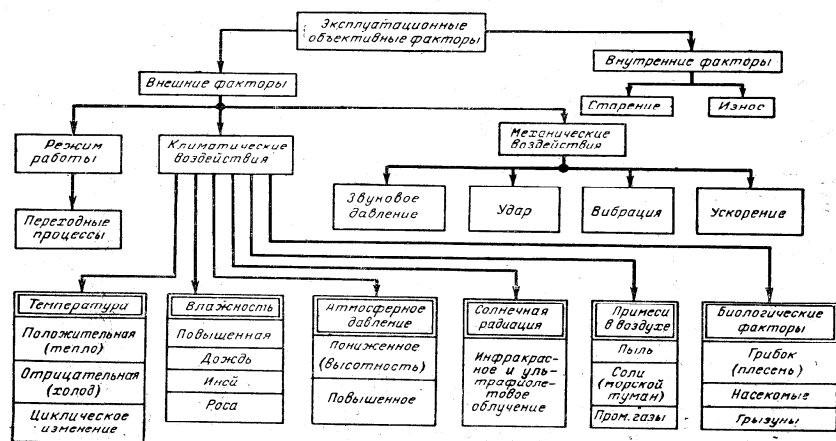


Рис. 1.1. Классификация объективных эксплуатационных факторов, действующих на ЭА

1.4. Классификация методов испытаний приборов и ЭС

Зависимость качества работы ЭА от рассмотренных выше факторов приводит к необходимости иметь своевременную информацию о соответствии РЭА предъявляемым к ней требованиям. Получение такой информации по результатам эксплуатации оказывается затруднительным и в ряде случаев нецелесообразным. Во-первых, эта информация часто приходит с большим опозданием и относится к морально устаревающей ЭА.

Во-вторых, не все интересующие нас параметры могут быть измерены в условиях реальной эксплуатации.

В-третьих, точность и полнота информации оказывается недостаточной из-за невозможности использования в эксплуатационных условиях лабораторной радиоизмерительной аппаратуры.

Указанные причины приводят к необходимости разработки методов испытаний ЭА и ее элементов. Осуществление испытаний в нормальных эксплуатационных условиях необходимо также для определения работоспособности и степени соответствия параметров ЭА техническим требованиям (ТТ) и техническим условиям (ТУ).

Полученные в процессе испытаний статистические данные об отказах ЭА и элементов позволяют произвести расчеты надежности и определить ее зависимость от времени и степени жесткости воздействующих факторов. Принято различные внешние воздействия на ЭА называть нагрузками. Величина и характер нагрузок зависят от соответствующих внешних воздействий. В реальных условиях эксплуатации РЭА испытывает комплекс внешних воздействий, определяющих полную нагрузку.

Применяемые в настоящее время методы испытаний можно разделить на две большие группы: физические испытания реальной ЭА, или ее макетов, и испытания, осуществляемые моделированием (рис. 1.2).

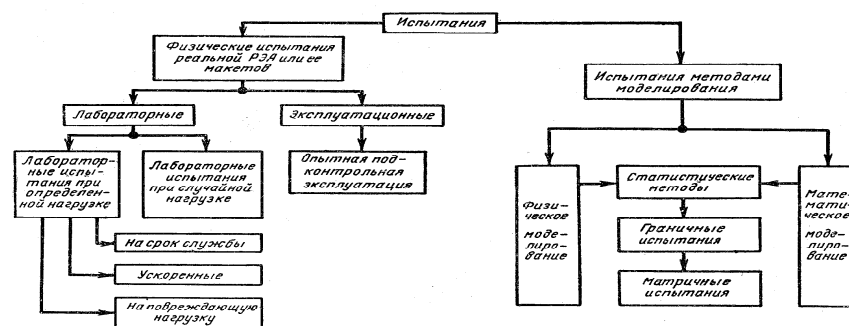


Рис. 1.2. Классификация методов испытаний ЭА

Физические испытания могут осуществляться в эксплуатационных и лабораторных условиях. В зависимости от

вида ЭА и условий ее эксплуатации осуществляют испытания, называемые подконтрольной (опытной) эксплуатацией, при которой все нагрузки оказываются случайными. При этом периодически измеряют заданные параметры и проверяют состояние ЭА.

Лабораторные испытания отличаются от условий реальной эксплуатации тем, что при их проведении пока еще не представляется возможным моделировать все внешние воздействия (полную нагрузку) одновременно в тех случайных соотношениях, в которых они имеют место при реальной эксплуатации.

Обычно при лабораторных испытаниях ЭА подвергается воздействию одной или двух определенных нагрузок. Это приводит к результатам, несколько отличным от полученных при реальной эксплуатации.

Совершенствование испытательного оборудования, имитирующего случайные нагрузки, позволяет приблизить лабораторные испытания к реальным условиям эксплуатации, что дает основание называть подобные испытания лабораторными испытаниями при случайных нагрузках.

В зависимости от величины нагрузки, действующей на ЭА, различают три вида лабораторных испытаний: на срок службы, ускоренные и на повреждающую нагрузку.

Испытания на срок службы по длительности близки к эксплуатационным. Но, как указывалось, на аппаратуру при этом воздействует не случайная, а определенная нагрузка.

При ускоренных испытаниях действующая нагрузка значительно больше эксплуатационной, что приводит ЭА к быстрому выходу из строя.

Испытания на повреждающую нагрузку заключаются в том, что ЭА подвергается воздействию одной или ряда увеличивающихся нагрузок, приводящих к появлению отказа.

В отличие от испытаний на срок службы в данном случае время испытаний мало. Недостатками рассмотренных видов испытаний являются необходимость наличия образцов или макетов ЭА, большие затраты времени, а также необходимость использования специального дорогого испытательного оборудования.

Испытания моделированием могут осуществляться методом, физического и математического моделирования.

Физическое моделирование заключается в том, что первичный параметр испытываемого устройства (процесс в элементе схемы или какое-либо внешнее воздействие) заменяется простой физической моделью, способной имитировать изменения данного параметра. Физическое моделирование может осуществляться статистическими методами испытаний, частным видом которых являются граничные испытания.

Под граничными понимают такие испытания, при которых в определенных условиях наблюдают изменение выходных параметров модели при частных значениях входных параметров; частные значения входных параметров могут задаваться переменным сопротивлением или определенным образом регулируемой ячейкой. Конкретные условия работы модели могут задаваться с помощью термокамер, вибростендов и т. д.

Развитием граничных испытаний являются матричные испытания, при которых определяется надежность устройства в зависимости от совместных изменений значений первичных параметров в пределах установленных допусков.

Математическое моделирование процесса эксплуатации на электронных математических машинах позволяет сократить время испытаний и исключить необходимость многократного их повторения.

Для осуществления математического моделирования необходима входная информация, получаемая в процессе реальной эксплуатации, в результате испытаний, а также путем теоретических и аналитических исследований. Сложность построения математической модели и определения необходимой информации пока ограничивает широкое применение этого метода.

При выборе метода испытаний РЭА следует исходить из требуемой степени достоверности результатов, а также из экономических соображений.

1.5. Ускоренные испытания

Ускоренные лабораторные испытания имеют целью выявить изменения электрических, механических и других параметров ЭА (элементов и материалов) при сокращении длительности испытаний и одновременном ужесточении условий эксплуатации, а также при форсировании режимов работы ЭА. Осуществление более жестких условий эксплуатации может достигаться путем увеличения температуры (t , °C), процента влажности (r %), механических и других воздействий. Форсирование режимов работы ЭА (элементов) достигается путем повышения питающих напряжений или увеличения электрической нагрузки. При испытаниях аппаратуры, работающей в циклическом режиме, для его форсирования уменьшают время пауз, увеличивают частоту и количество включений.

Воздействие перечисленных выше ускоряющих факторов приводит к увеличению интенсивности отказов. В результате ускоренных испытаний оказывается возможным получить функциональную зависимость интенсивности отказов (λ) от внешних воздействий (t° , $r\%$, p , мм рт.ст. и т. д.). Основная

трудность проведения ускоренных испытаний заключается в необходимости установления соответствия законов распределения отказов при ускоренных испытаниях с законами нормальной эксплуатации. При этом необходимо, чтобы интенсификация процессов старения и выработки ресурса не приводила к увеличению нагрузок сверх установленных допусков, при которых могут возникать отказы и поломки.

Выбор форсированных режимов ускоренных испытаний основывается на результатах теоретического и физико-химического анализа данных о работе ЭА и ее элементов. Сложность осуществления ускоренных испытаний заключается в том, что мы располагаем весьма малыми значениями физики отказов, имеющих место при различных условиях эксплуатации разнообразных ЭА (элементов). Одним из путей получения необходимых данных является сбор и анализ статистического материала, позволяющего установить законы распределения различного вида отказов, выявить причины их возникновения и установить подобие этих законов как для ЭА, так и для ее элементов.

Наличие указанной информации позволяет решить вопросы о возможности ускорения физико-химических процессов, происходящих в ЭА (элементах) при проведении испытаний.

Известно, что одним из основных показателей надежности является случайная величина - среднее время безотказной работы $T_{ср}$. Для определенной ЭА эта величина имеет некоторое функциональное распределение с математическим ожиданием $M[T_{ср}]$ и дисперсией D .

Очевидно, что среднее время безотказной работы $T_{ср}$ зависит от совокупности различных, воздействующих на РЭА случайных факторов $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Нашей задачей является установление функциональной зависимости

$$M[T_{cp}] = M[\bar{X}], \quad (1.1)$$

$$D = D[\bar{X}]. \quad (1.2)$$

Однако решение данной задачи, даже при современном уровне развития науки, оказывается почти невыполнимым для ЭА в целом и трудно выполнимым для отдельных элементов. Решение несколько облегчается, если ограничиться рассмотрением воздействия отдельно действующего фактора при прочих неизменных. Но и в этом случае вывод зависимостей (1.1) и (1.2) для отдельных элементов требует ряда упрощений и допущений, в какой-то степени искажающих физику процессов. Источником информации, необходимой для проведения ускоренных испытаний, могут являться как данные эксперимента, так и литературные данные о частоте отказов различных элементов в зависимости от воздействия внешних или внутренних факторов.

Перед началом испытаний необходимо проанализировать условия эксплуатации, хранения и транспортировки ЭА, установить, какие нагрузки может испытывать ЭА (увеличение питающих напряжений, количество включений, длительность работы и т. д.), а также интенсивность воздействия отдельных факторов (температура, влажность, вибрация и т. д.).

На первом этапе испытаний экспериментально или теоретически, используя имеющиеся литературные данные, выбираются воздействующие факторы, наиболее ускоряющие износ изделия.

При выборе воздействующих факторов и пределов их изменения необходимо исходить из возможности ма-

ксимального ускорения физико-химических процессов, происходящих в аппаратуре и элементах при эксплуатации, избегая появления побочных процессов, искажающих картину износа и старения. Рекомендуется выбирать один или два фактора, при действии которых осуществляют ускоренные испытания.

При необходимости проведения испытаний на воздействия ряда факторов испытываемые изделия разбивают на несколько групп, каждая из которых испытывается на действие одного или двух факторов при неизменных остальных. Следует иметь в виду, что под действием какого-либо одного фактора в разнородных элементах ЭА могут возникать различные процессы, протекающие с различными скоростями. Поэтому необходимо учитывать, какие физико-химические протекают в элементах ЭА и какой может быть зависимость интенсивности отказов от скорости этих процессов. Аналитическое рассмотрение данных зависимостей настолько трудно, что единственным путем решения поставленных задач является экспериментальное исследование, сочетающееся с теоретическим анализом.

На втором этапе испытаний ЭА (элементы) подвергают воздействию выбранных факторов. По результатам испытаний определяют режим и объем ускоренных испытаний, время наработки на отказ и другие параметры надежности.

На третьем этапе испытаний, пользуясь полученными данными, разрабатывают методику ускоренных испытаний, в соответствии с которой осуществляют испытания других экземпляров или партий аналогичных ЭА или элементов. По результатам испытаний для каждого воздействующего фактора находится распределение частоты отказов и параметры $M[T_{cp}]$ и $\sigma[\bar{X}]$ с указанием доверительного интервала при заданном

уровне достоверности.

По полученным данным выводятся аналитические зависимости (1) и (2) и строится график функции параметра распределения от воздействующего фактора. Затем параметры ускоренных испытаний пересчитывают для условий нормальной эксплуатации. В ходе пересчета определяют коэффициенты, связывающие время обычных и ускоренных испытаний. Как показывает практика, при рационально разработанной методике ускоренных испытаний возможно сокращение времени испытаний в 2—4 раза.

Задавшись уровнем достоверности, относительной (абсолютной) погрешностью, предполагаемым сроком службы, режимом испытаний, а также пользуясь полученными графической и аналитической (эмпирической) зависимостями, определяют объем испытаний и степень ускорения. Объем испытания существенно зависит от предполагаемого срока службы ЭА.

Недостатком рассмотренной программы подготовки к проведению ускоренных испытаний является ее длительность.

Предложенная последовательность работ справедлива при проведении испытаний любых элементов и аппаратов. Однако установление интересных нас зависимостей для сложных ЭА или систем оказывается длительным и трудоемким процессом. Поэтому, если предположить, что надежность элементов ЭА не зависит от их взаимодействия и законы распределения отказов у них одинаковы и экспоненциальны, то закон распределения отказов ЭА будет также экспоненциальным при всех принятых допущениях.

Отсюда оказывается возможным во многих случаях на основании испытаний элементов сделать вывод о надежности ЭА в целом.

Рассмотрим ряд примеров, показывающих, как, пользуясь экспериментальными или аналитическими зависимостями, можно выбрать режим ускоренных испытаний различных радиоэлементов.

Известно, что надежность электровакуумных приборов зависит от внешних условий эксплуатации и от электрических режимов аппарата. Основными параметрами, характеризующими электрические режимы, являются коэффициент электрической нагрузки, напряжение накала и напряжения на аноде и экранной сетке. Коэффициентом электрической нагрузки электронных ламп называют отношение суммарной мощности рассеивания на электродах к суммарной допустимой мощности рассеивания:

$$K_H = \frac{P_H + P_a + P_{\text{Э}}}{P_{H0} + P_{\text{макс.а}} + P_{\text{макс.Э}}}, \quad (1.3)$$

где P_H - реальная мощность накала;

P_a , $P_{\text{Э}}$ - реальные мощности рассеивания на аноде и экранной сетке;

$P_{\text{макс.а}}$, $P_{\text{макс.Э}}$ - максимальные мощности рассеивания на аноде и экранной сетке;

P_{H0} - номинальная мощность накала.

Очевидно, что в нормальном режиме при коэффициенте нагрузки $K_H=1$ средний срок службы лампы равен T_1 . Увеличение мощности, рассеиваемой на электродах лампы, т. е. работа при перегрузке, приводит к сокращению среднего срока службы лампы до T_2 и росту интенсивности отказов.

Наличие зависимости относительного изменения среднего срока службы (T_2/T_1) лампы от коэффициента нагрузки (K_H) позволяет установить степень надежности лампы (рис. 1.3).

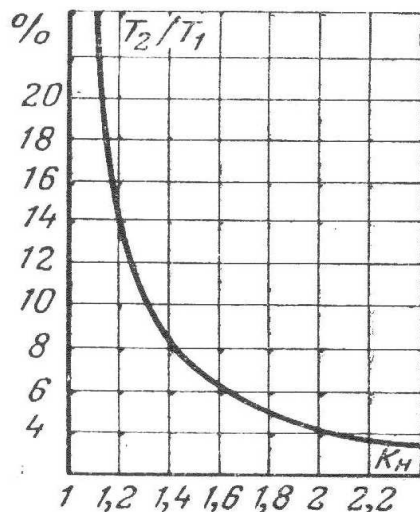


Рис. 1.3. Зависимость относительного изменения среднего срока службы сверхминиатюрных ламп от коэффициента нагрузки

Если относительное изменение среднего срока службы при увеличении КН оказывается больше допустимого значения, то надежность лампы выше заданной. В противном случае лампа оказывается ненадежной. Так, например, из графика на рис. 1.3 следует, что при увеличении КН на 20% (КН=1,2) $T_2/T_1 = 14\%$. Это означает, что средний срок службы сокращается в семь раз ($100/14 \approx 7$). Следовательно, если при КН=1,2 $T_2/T_1 > 14\%$, то лампа в нормальном режиме будет работать в течение времени T_1 . Если же в процессе ускоренных испытаний значение $T_2/T_1 < 14\%$ (при КН=1,2), то это свидетельствует о ненадежности лампы.

Знание электрической зависимости интенсивности отказов приемно-усилительных ламп от напряжения накала позволяет осуществить ускоренные испытания за счет увеличения напряжения накала. Интенсивность отказов при

рабочем напряжении УН определяется формулой

$$\lambda_H = 0,4\lambda_{H0} + 0,6\lambda_{H0} \left(\frac{U_H}{U_{H0}}\right)^{12}, \quad (U_H > U_{H0}) \quad (1.4)$$

где λ_{H0} - интенсивность отказов при номинальном напряжении накала;

УН - рабочее напряжение накала;

УН0 - номинальное напряжение накала.

Аналогично можно воспользоваться эмпирической формулой зависимости интенсивности отказов от анодно-экранного напряжения (U_a):

$$\lambda(U_a) = \lambda_0 \left(\frac{U_a}{U_{a0}}\right)^{1.75}, \quad (1.5)$$

где U_a - рабочее анодно-экранное напряжение; U_{a0} - номинальное анодно-экранное напряжение.

Наличие экспериментально установленной связи среднего времени безотказной работы транзисторов (П13, П16) от мощности рассеиваемой на коллекторном переходе и от температуры окружающей среды позволяет осуществить их ускоренные испытания:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_2 = T_1 e^{-0,24(P_2 - P_1)} \\ T_2 = T_1 e^{-0,1045(t_2 - t_1)} \end{array} \right\}, \quad (1.6)$$

где T_1 - среднее время безотказной работы при нормальной мощности рассеивания (P_1) и нормальной температуре (t_1);

T_2 - среднее время безотказной работы при повышенной мощности рассеивания (P_2) и повышенной температуре (t_2).

Из формул следует, что увеличение мощности рассеивания или температуры окружающей среды приводит к уменьшению среднего времени безотказной работы T_2 .

Одним из наиболее широко применяемых в радио-

аппаратуре элементов являются резисторы (около 40% всех элементов). Интенсивность отказов резисторов в значительной степени зависит от температуры окружающей среды и рассеиваемой мощности. Аналитическая зависимость, связывающая относительную интенсивность отказов с температурой окружающей среды и рассеиваемой мощностью, имеет вид:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \exp \left\{ \frac{B \left[t_0 - t_H + R_t P_H \left(\frac{P_P}{P_H} - 1 \right) \right]}{(273 + t_0 + R_t P_P)(273 + t_H + R_t P_H)} \right\}, \quad (1.7)$$

где λ - интенсивность отказов в рабочем режиме при реально рассеиваемой мощности (P_P);

λ_0 - интенсивность отказов при допустимой (номинальной) рассеиваемой мощности (P_H) и предельно допустимой (номинальной) температуре окружающей среды (t_H);

t_P - реальная температура окружающей среды;

R_t - тепловое сопротивление теплоотдачи с поверхности в окружающую среду;

B - постоянная, определяемая из опыта.

В соответствии с приведенной формулой для конкретного типа резистора строят зависимости $\lambda/\lambda_0=f(t_0, P_P/P_H)$ при определенных путем обработки статистических данных постоянных B , R_t и λ_0 . Пользуясь графиком (рис. 1.4), можно найти величину в зависимости от P_P и t_0 .

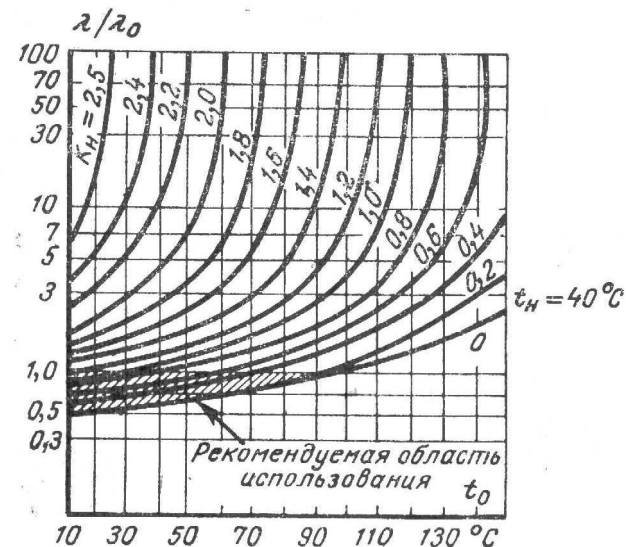


Рис. 1.4. Расчетные зависимости интенсивности отказов композиционных резисторов от температуры окружающей среды и коэффициента нагрузки

Столь же широкое применение в ЭА имеют конденсаторы, интенсивность отказов которых того же порядка, что и резисторов. Интенсивность отказов конденсаторов существенно зависит от электрических режимов, температуры и влажности окружающей среды. на средний срок 'службы конденсаторов выражается следующей эмпирической, зависимостью:

$$T_{CP} = T_{CP0} \left(\frac{U_H}{U_P} \right)^\gamma e^{-0.07(t_0 - t_H)}, \quad (1.8)$$

где U_H - номинальное напряжение;

U_P реальное напряжение;

t_0 - температура окружающей среды, °C;

t_H - номинальная температура среды оC;

T_{cp0} – средний срок службы при номинальном напряжении и температуре окружающей среды $t_{00}=t_{H0}$;

$\gamma = 2 \div 4$ - постоянная, определяемая из опыта для данного типа конденсаторов.

За счёт увеличения реального напряжения или температуры окружающей среды возможно ускорение процесса испытаний конденсаторов.

Мы привели примеры возможного осуществления ускоренных испытаний при вполне определенных воздействующих факторах только для ряда радиоэлементов. Установление подобных зависимостей для всех элементов при воздействии различных факторов является одной из первоочередных задач. Когда ускоренные испытания элементов не являются разрушающими, а время их проведения мало, их целесообразно вводить в технологический процесс.

1.6. Испытания на повреждающую нагрузку

Испытания на повреждающую нагрузку имеют целью оценить стойкость элементов (деталей и узлов), а иногда и РЭА к внешним воздействиям. Поскольку в ходе испытаний выявляются «слабые» элементы со скрытыми дефектами, то иногда эти испытания называют «поиском критической слабости». При этом методе испытаний нагрузка (внешнее воздействие) увеличивается постепенно до момента возникновения отказа испытываемого элемента (аппарата). Величина нагрузки фиксируется как в процессе ее увеличения, так и в момент отказа.

Иногда, при наличии большого запаса надежности, элементы и аппараты выдерживают нагрузку, во много раз превышающую максимальную, имеющую место при реальной эксплуатации. Эмпирически установлено, что испытания

следует прекращать после того, как ЭА выдержит четырехкратное превышение максимально допустимого значения нагрузки. В ряде случаев возникновение отказа не приводит к окончательному выходу из строя элемента ЭА и он после снятия нагрузки и устранения отказа оказывается вновь работоспособным.

Как указывалось, отличие испытаний на повреждающую нагрузку от испытаний на срок службы заключается в различной длительности испытаний.

При испытаниях на повреждающую нагрузку время безотказной работы не фиксируется и не исследуется. Для исключения побочного влияния длительности времени испытаний его стараются сокращать. Как правило, испытаниям на повреждающую нагрузку чаще всего подвергают элементы приборов и ЭС кратковременного и однократного действия, так как они работают в более тяжелых режимах.

Испытания на повреждающую нагрузку позволяют получить сведения о возможности использования элементов (РЭА) при определенной нагрузке, но по их результатам нельзя определить характеристики надежности.

При испытаниях узлов и ЭА необходимо быть уверенным, что используемые в них детали обладают требуемой надежностью. Возможность возникновения скрытых дефектов в деталях из-за их несовершенства маскирует и осложняет анализ причин возникновения отказов.

Элементы и ЭА могут испытываться на одиночную и комплексную нагрузку. Чем большее количество нагрузок действует одновременно, тем условия испытания ближе к эксплуатационным. Однако принято, что повреждающая нагрузка выбирается только одна. Она действует одновременно с другими нагрузками нормального уровня.

Для удобства фиксации интенсивности нагрузок и

параметров элементов (ЭА), а также с целью обеспечения времени установления стационарного режима повреждающая нагрузка увеличивается скачкообразно с выдержкой после каждого скачка. Величина выдержки (Δt) зависит от характера нагрузки. Величина скачка нагрузки (Δx) устанавливается экспериментально (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Программа испытаний на повреждающую нагрузку

Для ускорения процесса испытаний величину скачка целесообразно брать большой, однако при этом возрастает вероятность увеличения ошибки при определении величины повреждающей нагрузки.

Пользуясь данными испытаний, строят гистограмму распределения повреждающей нагрузки. Для этого сначала составляют таблицу 1, называемую статистическим рядом.

Таблица 1.1

| | | | | |
|-------|-----------|-----------|---------------|---------------------|
| I_i | $x_1;x_2$ | $x_2;x_3$ | $x_i;x_{i+1}$ | $x_k;$ x_{k+1} |
| p_i | p_1 | p_2 | p_i | p_k |

В табл. 1.1 весь диапазон наблюдаемых значений x представлен разбитым на интервалы или «разряды». В таблице

приняты обозначения: I_i - обозначение i -го разряда; x_i, x_{i+1} - границы разряда; k —число разрядов; p_i - частота отказов.

В данном случае под частотой отказов будем понимать вероятность отказов элементов q_i

$$q_i = \frac{n_i}{N}, \quad (1.9)$$

где N —начальное число испытываемых элементов;

n_i - число отказавших элементов в данном разряде.

Для построения гистограммы (рис. 1.6) по оси абсцисс откладывают разряды (x_i, x_{i+1}), полагая, что все разряды по длине одинаковы, а по оси ординат—вероятность отказов элементов q_i . За начало отсчета принимают значение нагрузки, при котором q_i максимальна. Вправо и влево от данного значения отложены разряды больших и меньших нагрузок, при которых вероятность отказа уменьшается.

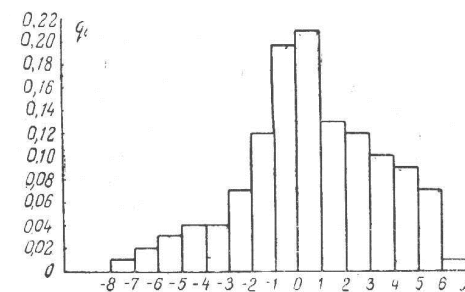


Рис. 1.6. Гистограмма распределения повреждающей нагрузки

Полная площадь построенной гистограммы равна единице. При увеличении числа интервалов (скачков) разряды становятся мельче и гистограмма приближается к кривой, ограничивающей площадь, равную единице. Эта кривая, представляющая собой график плотности распределения величины x , называется кривой распределения.

Как показывает опыт, повреждающие нагрузки чаще всего распределены по нормальному закону. Знание закона распределения позволяет ориентировочно указать интервал практически возможных значений случайных нагрузок (правило трех сигм).

Имея статистические данные величины повреждающей нагрузки и кривую распределения, вычисляют параметры закона распределения: среднюю повреждающую нагрузку (математическое ожидание)

$$M[\bar{X}] = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (1.10)$$

где x_i - дискретная случайная величина нагрузки, имеющая возможные значения x_1, x_2, \dots, x_n с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_n , и среднее квадратичное отклонение повреждающей нагрузки от среднего значения

$$\sigma_x = \sqrt{D[\bar{X}]}, \quad (1.11)$$

где $D[\bar{X}] = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i$ - дисперсия случайной величины нагрузки x , $m_x = M[\bar{X}]$ а - математическое ожидание.

Определение указанных выше параметров позволяет оценить некоторое среднее значение $M[\bar{X}]$ и степень рассеивания возможных случайных величин $\sigma[\bar{X}]$ около него.

1.7. Статистические испытания

Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) заключается в том, что при помощи многократных случайных испытаний (вычислений, производимых над случайными числами) определяют вероятность появления некоторого

случайного события (математического ожидания случайной величины).

Данный метод позволяет определить характеристики надежности исходя из предположения, что известен механизм образования отказов при различных сочетаниях значений параметров ЭА, выбираемых случайным образом согласно заданной статистической модели. Применение этого метода позволяет путем многократного моделирования случайного процесса определить искомую величину. Решение поставленной задачи стало возможным только с появлением ЭВМ, позволяющих за короткое время произвести оценку влияния различных изменений параметров элементов на выходные параметры ЭА. Для нахождения этого решения необходимо знание граничных параметров элементов, определяющих пределы работоспособности (А) радиоаппарата.

Статистическим испытаниям могут подвергаться как математические, так и физические модели ЭА. Метод статистического испытания математической модели базируется на знании уравнений, связывающих входные параметры (x_1, x_2, \dots, x_n) с выходными параметрами испытываемого устройства (y_1, y_2, \dots, y_n). Эти уравнения могут быть выведены на основании изучения конкретной РЭА и ее внутренних функциональных связей, после чего осуществляют формализацию (математическое описание установленных связей с учетом воздействия различных факторов на ЭА. Формализация заключается в составлении математических зависимостей, определяемых структурами элементов ЭА и характером их функционирования. При этом необходимо правильно выбрать основные факторы, влияющие на функционирование ЭА. Увеличение числа учитываемых факторов приводит к усложнению моделирования РЭА. Выбрав параметры (x_1, x_2, \dots, x_n), характеризующие процессы

функционирования системы и необходимые для оценки ее эффективности, и полагая, что работоспособность РЭА определяется набором параметров $y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$, построим модель процесса, определяющего вероятность попадания параметра $y=f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$, где $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ - случайные величины, обладающие заданным распределением в области работоспособности А:

$$P_{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.12)$$

Далее разрабатывают алгоритмы, моделирующие процессы функционирования РЭА. Алгоритмы (системы правил) определяют последовательность операций (аналитических или логических), выполняемых с целью получения численных величин параметров эффективности. Алгоритмы записываются в виде математических формул, схем или при помощи логического описания. В данном случае алгоритмы функций должны обеспечивать получение совместного распределения (9) при известных распределениях случайных чисел a_1, a_2, \dots, a_n , которые могут быть взяты из специальных таблиц или получены с помощью специальных датчиков. Таким образом, выходной параметр, характеризующий работоспособность РЭА, оказывается функцией случайных чисел: $y = y(a_1, a_2, \dots, a_n)$.

Осуществляя N независимых реализации (испытаний) последовательности случайных чисел a_1, a_2, \dots, a_n :

$$\begin{aligned} & a_1^{(1)}, \dots, a_m^{(1)}; \\ & a_1^{(2)}, \dots, a_m^{(2)}; \\ & \bullet \bullet \bullet \\ & a_1^{(N)}, \dots, a_m^{(N)}, \end{aligned}$$

вычисляют для каждой из них значения $y_i=y(a_1^i, \dots, a_m^i)$; $1 \leq i \leq N$ (верхний индекс у a обозначает номер реализации). Поскольку обработка числовых результатов является весьма трудоемкой, то процесс вычислений целесообразно автоматизировать, для чего разработанные алгоритмы программируются, т. е. предусмотренные ими операции представляются в системе определенных команд, которые позволяют произвести все расчеты с помощью ЭВМ.

По результатам N испытаний оценивают вероятность попадания параметра y в область А.

При числе попаданий K в область А

$$P(A) = \frac{K}{N}. \quad (1.13)$$

Установлено, что погрешность испытаний имеет порядок

$$\delta \sim \frac{1}{\sqrt{N}}. \quad (1.14)$$

Если значения случайных величин имеют распределение по нормальному закону, то погрешность, даваемая методом Монте-Карло, имеет вид:

$$\delta = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (1.15)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение.

Повышение точности результатов испытаний достигается увеличением числа испытаний (N). Данный метод позволяет использовать сколь угодно сложную математическую модель испытываемого устройства, достаточно полно отражающую физику его работы и уменьшающую погрешности,

свойственные расчетным методам. Математическая модель может, быть дана в виде системы частных аналитических зависимостей отдельных выходных параметров схемы от входных в виде экспериментально полученных графиков, таблиц и т. п. Применение данного метода испытаний позволяет сконструировать более надежную РЭА и отказаться от ряда сложных лабораторных испытаний. Недостатками метода являются необходимость наличия ЭВМ, обладающей большим быстродействием; определение основных соотношений, получаемых в результате больших предварительных теоретико-экспериментальных исследований, характеризующих математическую модель устройства; знание вероятностных характеристик входных (первичных) параметров.

Метод статистических испытаний физическим моделированием ЭА предусматривает проведение испытаний на реальных аппаратах или на электронных моделях. При испытаниях на реальных аппаратах производят исследование процессов возникновения отказов в ЭА и их последствий путем искусственного введения в схему обрывов, коротких замыканий или установки элементов несоответствующих номиналов. Проведение испытаний на электронных моделях заключается в том, что определенные элементы схемы заменяются физическими моделями, позволяющими изменять величины характеризующих их параметров. Так, например, на рис. 1.7 приведены схемы макетов элементов, позволяющие имитировать различные сопротивления резисторов с помощью переменных резисторов, различные емкости и потери с помощью переменных конденсаторов и резисторов, разброс полупроводниковых диодов с помощью переменных резисторов.

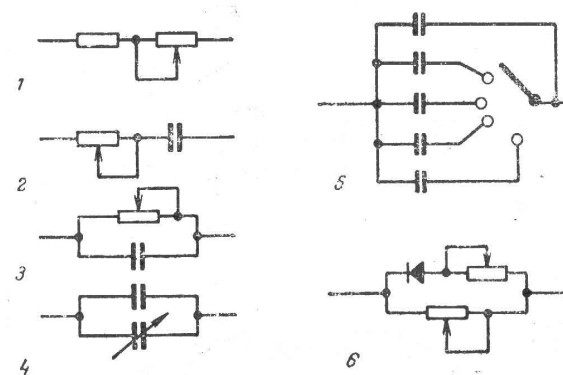


Рис. 1.7. Схемы макетов элементов:
1 - резистор; 2,3 – конденсаторы постоянной емкости;
4,5 – конденсаторы переменной емкости; 6 – диод

Моделирование различных элементов осуществляют на специальных стендах, позволяющих воспроизводить случайные процессы изменения параметров элементов. Для получения случайных процессов изменения напряжений, управляющих параметрами элементов, используют специальные генераторы случайных процессов. Достоинством данного метода является то, что отпадает необходимость в математической модели, связывающей выходные параметры с входными (первичными). Указанная связь реализуется непосредственно в физической модели.

Недостатками метода являются техническая сложность выполнения физических моделей ряда устройств (например, высокочастотных, импульсных и т. д.), высокая стоимость стендов для проведения испытаний из-за их сложности и большой трудоемкости. Рассмотренные статистические методы испытаний могут применяться как для моделирования процессов, происходящих внутри ЭА, так и для моделирования внешних воздействий, которым подвергается ЭА во время эксплуатации. При этом считают, что внешние

воздействия определяются обслуживающим персоналом и условиями работы ЭА. Для оценки процессов обслуживания, помимо статистических методов испытаний, применяют метод, называемый теорией массового обслуживания, а также составляются дифференциальные уравнения, отражающие динамику технического обслуживания.

1.8. Граничные испытания

Все виды испытаний и исследований, применяемые для предсказания места и времени появления постепенного отказа элемента или ЭА, основанные на определении связи граничных значений параметров элементов с работоспособностью и надежностью ЭА, принято называть граничными испытаниями.

Пользуясь методом граничных испытаний возможно еще в процессе разработки ЭА выбрать оптимальные варианты схем, параметры их элементов и режимов. Граничные испытания являются экспериментальным методом, основанным на физическом моделировании области значений первичных параметров, при которых выходные параметры устройства находятся в пределах допуска.

Проведение граничных испытаний складывается из следующих этапов:

1. Определение критериев отказа ЭА исходя из условий работы и в соответствии с техническим заданием.

2. Определение границ работоспособности и надежности ЭА, выполненного из элементов с номинальными параметрами, в зависимости от изменений напряжения питания, внешних условий, параметров входных сигналов.

3. Определение границ работоспособности и надежности ЭА, работающего в нормальных условиях (номинальные напряжения питания, параметры входных сигналов и внешние

условия), в зависимости от разброса параметров элементов ЭА.

Для осуществления граничных испытаний необходимо имитировать изменение параметров различных схемных элементов (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, электронных и полупроводниковых приборов), влияющих на работоспособность ЭА. Наиболее часто в качестве граничного параметра в данном методе выбирают одно из питающих напряжений (параметр граничного испытания), которое используется для имитации изменений параметров элементов схемы (например, резисторов).

Изменение параметров конденсаторов и катушек индуктивности имитируют последовательно-параллельным включением этих элементов. Имитацию изменения прямого и обратного тока полупроводниковых приборов осуществляют последовательным или параллельным включением в схему дополнительных резисторов соответствующих номиналов.

Наибольшую сложность представляет имитация изменения параметров транзисторов и электронных ламп, так как они характеризуются сложной совокупностью параметров. В этих случаях подбирают группу элементов с одинаковыми параметрами, за исключением одного элемента, параметры которого изменяют в нужном направлении. Так, например, амплитуду напряжения сигнала на выходе лампового усилителя можно имитировать изменением напряжения анодного питания.

Рассмотрим определение границ исправной работы РЭА. Изменяя напряжение граничного испытания до момента отказа схемы при номинальных значениях параметров всех элементов, определим напряжение отказа $U_{гр0}$. Затем, изменив один из параметров рассматриваемого элемента, определим, при каком новом значении $U'_{гр}$ возникнет отказ. Очевидно, что при разных значениях параметра ($x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$)

элемента отказы схемы будут возникать при различных напряжениях.

Таким образом, можно установить, что определенному отклонению напряжения граничного испытания $\Delta U_{гр} = U_{гр} - U_{гр0}$ соответствует определенное значение Δx - отклонение параметра элемента от номинала.

По данным испытания строят график зависимости отклонения напряжения граничного испытания до отказа схемы (рис. 1.8).

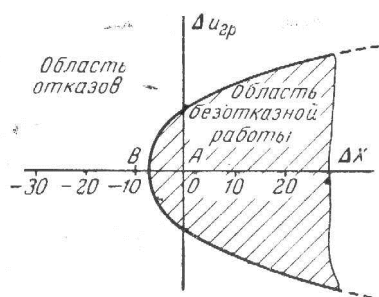


Рис. 1.8. График граничного испытания

Из графика следует, что кривая является границей, отделяющей область безотказной работы от области отказов, что и привело к названию - метод граничных испытаний. Следует отметить, что вид графика граничного испытания имеет существенное значение для возможности его использования. При выборе напряжения граничного испытания необходимо, чтобы изменение величины параметра обеспечивало малый и плавный наклон кривой к оси отклонения параметра элемента (рис. 1.9).

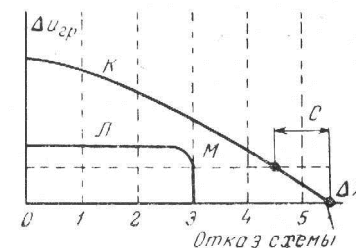


Рис. 1.9. Предсказание отказа при граничном испытании

Если при изменении указанного напряжения линия граничного испытания сначала остается постоянной, а затем резко падает до нуля, исключается возможность получения своевременной информации о приближении отказа и возникает необходимость нового подбора напряжения граничного испытания. В большинстве случаев при изменении параметров граничных испытаний в широких пределах контур безотказной работы оказываются замкнутым (рис. 1.10).

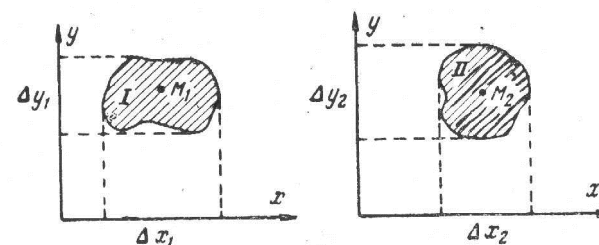


Рис. 1.10. Возможный вид замкнутого контура области безотказной работы

Знание графиков граничных испытаний позволяет определить «запас прочности» схемы, правильно выбрать номиналы параметров и режимы элементов схемы, предсказать появление постепенных отказов, а также сравнить надежность идентичных схем по площадям безотказной работы.

Выбор номинала параметра часто заключается в определении рабочей точки (М) в центре области безотказной работы. Однако возможны случаи, когда выбор такого положения рабочей точки окажется неверным. Так, например, при дрейфе параметра элемента в определенном направлении необходимо предусматривать сдвиг рабочей точки в противоположном направлении. Обычно график граничных испытаний снимают при условии, что параметры всех схемных элементов, кроме подвергаемого испытанию, фиксированы. В реальных условиях изменения параметров сильно взаимосвязаны между собой и сдвиг параметра одного элемента может вызвать опасный с точки зрения надежности сдвиг другого. Поэтому при осуществлении граничных испытаний РЭА приходится проводить большой объем работы по определению областей безотказной работы ряда элементов. Полученные области накладывают друг на друга и окончательно область безотказной работы определяется общим геометрическим местом точек для всех областей (рис. 1.11).

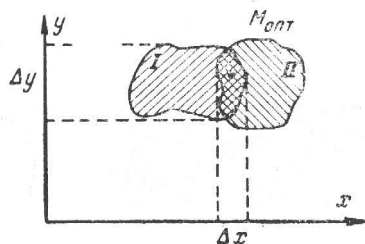


Рис.1.11. Определение области безотказной работы схемы

Возможны два способа проведения испытания. При первом способе, изменяя напряжение общего источника питания, определяют момент отказа ЭА и отказавший элемент. Однако в сложных ЭА, содержащих различные схемы с

разными величинами отклонений напряжения от номинального значения, это приводит к следующим недостаткам: невозможности обнаружения отказа более надежных схем за счет отказа малонадежных; выходу из строя схем, рассчитанных на малые напряжения и не контролируемых при данных испытаниях; возможности возникновения междукаскадной связи, приводящей к ошибочным результатам.

При втором способе сложные ЭА разбивают на группы, каждая из которых имеет свою линию граничного испытания. Возможно выделение следующих групп:

- а) группа напряжений, объединяющая линии с общими пределами изменения напряжения;
- б) группа схем, объединяющая схемы, проверяемые при одном отклонении напряжения;
- в) группа индивидуальных линий, когда ЭА испытывается поочередной подачей на каждую линию питания определенного напряжения. При этом к неиспытываемым линиям питания ЭА подают номинальные напряжения. Если перед испытаниями был известен запас надежности, то устанавливают величину напряжения, не превышающую это значение.

Отсутствие отказа при напряжении запаса надежности свидетельствует о том, что вместо граничных испытаний была проведена граничная проверка работоспособности.

Сложность современных ЭА приводит к необходимости использования для граничных испытаний специальных автоматов. В заключение отметим достоинства метода граничных испытаний; к ним относится возможность получения информации о надежности ЭА на этапе проектирования, удобство выбора оптимального рабочего режима, сокращение объема испытаний на внешние воздействия, возможность сравнения различных схем с точки

зрения их надежности.

Недостатками метода граничных испытаний являются невозможность количественной оценки надежности; трудоемкость проведения экспериментов, исключающая возможность получения данных об изменении выходных параметров ЭА при изменении комплекса внешних воздействий и взаимодействии элементов; отсутствие четких правил по проведению граничных испытаний и анализу их результатов; недостаточная эффективность из-за возможности маневрирования только одним параметром при всех прочих фиксированных.

1.9. Матричные испытания

Широкое применение граничных испытаний оказывается практически невозможным из-за того, что каждый параметр какого-либо элемента или ЭА связан сложной функциональной зависимостью с остальными параметрами элемента или схемы, а также зависит от влияния различных внешних факторов. Метод матричных испытаний, являющийся дальнейшим развитием граничных испытаний, заключается в том, что при испытании осуществляют моделирование рабочей области радиоустройства при всех возможных значениях первичных параметров, находящихся в пределах допусков. Для моделирования параметров схемы, лежащих в границах, предусмотренных техническим заданием, составляют матрицу состояний (матрицей называют систему тп чисел, расположенных в прямоугольную таблицу из т строк и п столбцов). В общем случае работоспособность и надежность ЭА зависят от большого числа параметров элементов схемы и внешних факторов, воздействующих на величину этих параметров. Для удобства ограничимся рассмотрением

матричных испытаний устройства, работоспособность которого зависит лишь от двух параметров, и имеется необходимая информация о характере случайных воздействий, о сигнале и некоторых других закономерностях. Условимся все параметры, от которых зависит работа ЭА, называть определяющими и считать, что диапазон их возможных значений ограничен интервалами ($x_{1\text{мин}}$, $x_{1\text{макс}}$), ($x_{2\text{мин}}$, $x_{2\text{макс}}$).

Эти интервалы определяются допусками в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к ЭА и его элементам. Разобьем эти интервалы на одинаковые участки (кванты), число которых соответственно будет $l(1)$ и $l(2)$. Значения параметров, соответствующие серединам участков будем называть представителями квантов. Состояние РЭА, при котором определяющие параметры находятся в заданном кванте и принимают значения представителя кванта, называют ситуацией состояния схемы. При двух параметрах, определяющих работоспособность схемы, число возможных ситуаций ЭА равно:

$$N_2 = l^{(1)}l^{(2)}. \quad (1.16)$$

Индекс 2 при N означает, что рассматривается двумерный случай, т. е. имеются два определяющих параметра. В общем случае при n определяющих параметрах число возможных ситуаций равно:

$$N = \prod_{j=1}^n l^{(j)}. \quad (1.17)$$

Каждая ситуация состояния соответствует определенным значениям параметров элементов. Под действием различных

причин изменяются параметры и ситуации. Для учета одновременного изменения всех определяющих параметров пользуются последовательностью ситуаций $a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m$. С целью моделирования возможных состояний составим матрицу ситуаций:

$$\|a = \left\| \begin{array}{c} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1k}^{(1)}, \dots, a_{1l}^{(1)} \\ a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2k}^{(2)}, \dots, a_{2l}^{(2)} \\ \vdots \\ a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jk}^{(j)}, \dots, a_{jl}^{(j)} \\ \vdots \\ a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nk}^{(n)}, \dots, a_{nl}^{(n)} \end{array} \right\|, \quad (1.18)$$

где первый индекс при a характеризует параметр, а второй показывает какому кванту данного параметра он принадлежит.

Наличие матрицы комбинаций случайных величин, характеризующих входные параметры ЭА, позволяет численным методом определить возможные реализации случайных значений входных параметров. Перебор всех возможных ситуаций для данного устройства может быть осуществлен путем приведения матричных испытаний, а также методом физического моделирования. Очевидно, что некоторые из ситуаций будут отказовыми, последовательность которых обозначим:

$$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_\mu, \dots, \omega_\gamma.$$

Знание вероятности появления отказовых ситуаций $P_1(t), P_2(t), \dots, P(t), \dots, P_\gamma(t), \dots$ позволяет определить область

работоспособности. Вероятность того, что в момент времени t схема окажется неработоспособной, выразится так:

$$P(t) = \sum_{\mu=1}^{\mu=r} P_\mu(t). \quad (1.19)$$

Вероятность работоспособности схемы в момент включения можно определить, предположив $t=0$. В этом случае вероятность отказа схемы после сборки ($P_{сб}$) определится:

$$P_{сб} = P(0) = \sum_{\mu=1}^{\mu=r} P_\mu(0). \quad (1.20)$$

Итак, в случае знания законов «старения» отдельных элементов схемы и начального значения вероятности постоянных отказов $P_{сб}$ можно определить вероятность появления отказовых ситуаций $P(t)$.

С целью некоторого уменьшения трудоемкости матричных испытаний возможно производить перебор не всех несовместных ситуаций устройства N , а только части N_m , выбираемых в соответствии с методом Монте-Карло по случайному закону.

Необходимое число испытаний N_m при заданной достоверности $1-\alpha$ и ошибки испытаний ε может быть определено из соотношения

$$N_m \cong \frac{l-1}{\varepsilon^2} \ln \frac{nl}{2\alpha}, \quad (1.21)$$

где p - общее число определяющих параметров РЭА $|x_j|, j=1,2,\dots,n;$

l - число участков (квантов), на которые разбит диапазон изменения параметров ($x_{j\text{мин}}$, $x_{j\text{макс}}$).

Предполагается, что для всех параметров ЭА диапазон разбивается на одинаковое число участков $l(1)=l(2)=\dots=l(j)=l$, каждый из которых представлен в испытаниях равной вероятностью. На конкретном примере можно показать, что применение метода Монте-Карло сокращает объем испытаний по сравнению с методом последовательного перебора. Так, например, при $l=4$, $\alpha=0,05$ и $\varepsilon=0,01$ получаем:

Таблица 1.2

| n | 10 | 15 | 20 |
|-------|------------------|------------------|------------------|
| N_m | $3,6 \cdot 10^5$ | $3,8 \cdot 10^5$ | $4,0 \cdot 10^5$ |
| N | 106 | 109 | 1012 |

Таблица 1.2 показывает, что при числе определяющих параметров $n=20$ необходимое число испытаний N_m при применении метода Монте-Карло в $25 \cdot 10^5$ раз меньше.

Совместное применение статистического и матричного методов испытаний значительно сокращает объем испытания, позволяет использовать не математическую, а физическую модель РЭА, с помощью которой можно проследить случайные изменения параметров в соответствии с определенным статистическим законом. Значительная трудоемкость матричных испытаний привела к необходимости разработки и применения специальных приборов, позволяющих автоматизировать процесс испытаний. Эти приборы (автоматы) позволяют в соответствии с матрицей ситуаций автоматически переключать элементы, реализующие значения представителей квантов, определяющих параметры испытываемой РЭА, т. е. осуществлять перебор ситуаций; проверять работоспособность

РЭА в каждой ситуации в соответствии с заданными критериями отказа; регистрировать количество и характер отказов.

В настоящее время в России группой инженеров разработан автомат статистических и матричных испытаний, позволяющий оценивать вероятность безотказной работы РЭА в определенный момент времени, а также осуществлять оптимизацию надежности схемы путем выбора оптимальных значений, определяющих параметры.

Достоинством метода матричных испытаний является возможность оптимизации надежности РЭА, т. е. возможность получения информации о степени надежности РЭА (соотношение отказовых и неотказовых ситуаций в пределах рабочей области). К недостаткам метода, ограничивающим его применение, относятся отсутствие информации о соотношении рабочей области и области функционирования, исключающей оценку запаса надежности, а также невозможность количественной оценки надежности.

Следует отметить, что автоматы матричных испытаний хотя и ускоряют процесс перебора ситуаций, но весьма сложны и трудоемки в налаживании.

1.10. Испытания приборов и ЭС в процессах проектирования и производства

Радиоэлектронная аппаратура подвергается испытаниям как в процессах производства и эксплуатации, так и в процессе проектирования. Процесс проектирования ЭА и ее элементов в основном складывается из научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских (ОКР) работ.

В ходе НИР разрабатывают техническое задание, в котором устанавливают основные параметры ЭА и условия его

эксплуатации. Кроме того, выполняют прикидочный расчет надежности, определяют основные параметры элементов, изготавливают и испытывают экспериментальные образцы. Испытания образцов производят с целью определения направления последующих конструкторских работ по их усовершенствованию. В заключение испытаний оформляются протоколы и на основании приводимых в них выводов разрабатывается проект методики проведения испытаний на последующих этапах. На основании полученных при выполнении НИР данных приступают к проведению ОКР.

Первоначальным этапом ОКР является эскизный проект, в процессе выполнения которого осуществляют лабораторные испытания макета ЭА. В заключение эскизного проекта даются рекомендации по объему и методике испытаний, разрабатываются технические задания на испытательное и измерительное оборудование.

Следующим этапом является технический проект, в ходе которого изготавливают опытные образцы, подвергающиеся испытаниям с целью выявления ошибок проектирования, определения слабых мест, которые могут приводить к недостаточной надежности ЭА, а также установления и проверки допусков. При этом образцы ЭА должны испытываться в условиях, соответствующих реальным условиям эксплуатации.

Заключительным этапом ОКР является изготовление опытной партии. На этапе опытного производства испытывают образцы опытной партии: проектируют и изготавливают контрольно-испытательное оборудование. При проведении испытаний опытной партии необходимо иметь комплект конструкторских документов, предусмотренный специальной ведомостью (МН СЧХ). Испытания образцов опытной партии подразделяются на две стадии: а) предварительные и б)

государственные испытания.

В ходе предварительных испытаний устанавливают соответствие образцов опытной партии предъявляемым к ним требованиям. Предварительные испытания могут осуществляться на специальных стендах (стендовые или лабораторные испытания) и непосредственно после установки ЭА на объект. Стендовые испытания проводятся комиссией в соответствии с требованиями ТУ и по специальной программе испытаний (ПИ).

Государственные испытания проводятся с целью полной проверки соответствия опытных образцов заданным условиям и решения вопроса о целесообразности запуска ЭА в серийное или массовое производство. При анализе результатов испытаний опытных образцов (партий) целесообразно разделять все отказы по принятой классификации (§ 2) и после выяснения причин их возникновения принимать действенные меры, обеспечивающие повышение надежности.

Объем проводимых испытаний зависит от сложности ЭА и требований к ее надежности. В большинстве случаев чем сложнее ЭА и выше требования, тем больше объем испытаний. Обычно проводят испытания на соответствие всем пунктам ТТ и ТУ. Результаты испытаний оформляются специальным протоколом, к которому прилагается программа и методика проведения испытаний, а также перечень испытательного и измерительного оборудования.

Эта и другая техническая документация совместно с утвержденным актом приемки ОКР передаются предприятию - изготовителю установочной серии. После изготовления установочной серии специальная комиссия осуществляет ее приемку, в ходе которой в соответствии с ТУ производятся испытания образцов. Одновременно с изготовлением установочной серии, изготавливают все контрольно-

испытательные установки и стенды, составляют на них всю необходимую документацию (описания, инструкции по эксплуатации и т. д.), укомплектовывают их всей необходимой измерительной аппаратурой.

По результатам приемки установочной серии оформляется акт, после утверждения которого считают, что производство подготовлено к серийному или массовому выпуску ЭА.

Испытания, проводимые на стадиях серийного или массового производства, подразделяются на: приемосдаточные, периодические (типовые) и проверочные.

Приемосдаточные (контрольные) испытания проводятся при сдаче заводом-изготовителем аппаратуры или ее элементов заказчику. Если испытания производятся без представителя заказчика, то их называют приемными.

Испытаниям подвергают аппаратуру или элементы, предварительно проверенные отделом технического контроля (ОТК) предприятия. Объем и последовательность испытаний предусматривается ТТ или ТУ, а также программой испытаний (ПИ). Возможна 100%-ная и выборочная проверка параметров предъявленной к сдаче аппаратуры. При 100%-ных испытаниях, отказавшие ЭА возвращаются для исправления, в то время как остальные ЭА продолжают испытывать.

При выборочных испытаниях отказ хотя бы одного из отобранных РЭА приводит к возвращению всей партии для ее повторной проверки ОТК и необходимому исправлению.

Периодические (типовые) испытания имеют целью установить соответствие электрических и других параметров ЭА параметрам ТУ или ТТ в нормальных условиях, а также при различных механических и климатических воздействиях. Периодичность и количество аппаратов или элементов, подвергающихся типовым испытаниям, определяются ТУ или

ТТ.

Как правило, периодические испытания проводят не реже одного раза в год. В ряде случаев (освоение новых ЭА, освоение ЭА на новом производстве) периодические испытания могут производиться ежемесячно или раз в три месяца. Периодическим испытаниям принято подвергать ЭА, отобранные из числа прошедших приемосдаточные испытания, причем испытывают не все отобранные РЭА, а оставляют часть (две трети) на случай, если возникнет необходимость проведения повторных испытаний.

Проверочные испытания - сокращенные испытания, проводимые с целью определения соответствия параметров ЭА требованиям ТУ или ТТ в случаях каких-либо схемных, конструктивных или технологических изменений. Количество ЭА, подвергающееся испытаниям, устанавливается индивидуально. При проведении проверочных испытаний проверке подлежат те параметры, на которые могли оказать влияние внесенные изменения. Испытания прекращаются после получения значения средней наработки на отказ Тср больше заданной или при безотказной работе ЭА в период времени прогона. Проверочные испытания проводят в процессе производства, а также при приемке опытных образцов.

Иногда для определения уровня надежности, соответствия выпускаемой заводом аппаратуры ТУ или ТТ осуществляют заводские испытания, проводимые в условиях, по возможности имитирующих реальную эксплуатацию. В процессе заводских испытаний выявляются надежность деталей и узлов и элементов, дефекты конструкции, качество сборки, монтажа и регулировки, а также устанавливают соответствие электрических параметров и количественных показателей, эксплуатационной надежности заданным нормам.

1.11. Методика составления программы испытаний

Высокие требования, предъявляемые к качеству современных приборов и ЭС, приводят к необходимости проведения испытаний на надежность, позволяющих определить значения параметров надежности по установленной методике с целью оценки их соответствия требованиям ТУ. Как указывалось ранее, одним из источников информации о работоспособности и надежности ЭА являются лабораторные испытания, имитирующие внешние воздействия, соответствующие реальным условиям эксплуатации. Поэтому разработка программы испытаний (ПИ) на надежность и методика их проведения являются ответственным мероприятием.

Основной целью программы испытаний является получение данных для введения необходимых изменений в конструкцию, обеспечивающих повышение качества аппаратуры, а также получение оценки фактической надежности ЭА.

Когда необходимо получить справочные данные о количественных показателях надежности и о их зависимости от времени и степени жесткости воздействующих факторов, производят специальные испытания на надежность, получившие название определительных. Точность оценки показателей надежности зависит от объема испытаний (количества испытываемых образцов и продолжительности испытаний). При разработке программы испытаний необходимо учитывать, в каком виде желательно получить результат испытаний: либо в виде случайного события — положительный исход или отказ, либо в виде количественной величины, характеризующей определенные электрические параметры ЭА. Также необходимо учитывать, является ли

испытываемая аппаратура однократного или многократного действия.

В основу разработки программы испытаний должны быть положены вероятностные и статистические методы, позволяющие обеспечить научно обоснованное планирование испытаний и оценку их результатов. Для определения количества испытываемых образцов и продолжительности испытаний необходимо знание законов распределения отказов. Принято считать, что для сложной аппаратуры многократного действия внезапные и постепенные отказы следуют экспоненциальному закону распределения, а для аппаратуры однократного действия биномиальному закону.

При разработке программы испытаний необходимо исходить из классификации изделий по функционально-конструктивному признаку, в соответствии с которым все изделия делятся на классы деталей, узлов, приборов, комплектов и систем. С точки зрения испытаний указанные классы изделий можно объединить в две группы: I или низшая группа, объединяющая изделия, не имеющие самостоятельного эксплуатационного назначения (детали, узлы, блоки), и II или высшая, группа, объединяющая изделия, имеющие самостоятельное эксплуатационное назначение—это приборы (радиоприемники, телевизоры и т. п.) и системы (установки, станции и т. д.).

Решение вопроса о том, подвергать ли испытаниям изделия низшей или высшей группы, принимается конкретно для каждого случая.

Испытания изделий низшей группы требуют применения более простой, дешевой и менее габаритной испытательной аппаратуры, а также позволяют более быстро обнаружить слабые места изделий, так как на результаты испытаний не оказывают влияния другие взаимодействующие с ним

элементы ЭА. При этом возможно более быстрое принятие необходимых мер по усовершенствованию этих изделий и устранению обнаруженных неисправностей до момента окончания проектирования и изготовления всей системы.

В ряде случаев возможно использование для испытаний уже имеющейся контрольно-измерительной аппаратуры, предназначенной для испытаний идентичных изделий.

Испытания высшей группы изделий обеспечивают получение результатов учитывающих возможные взаимодействия различных блоков и частей РЭА при меньшем объеме работ, так как для испытаний требуется меньшее время и число образцов. Однако при выборе группы изделий для испытаний следует учитывать, что вероятность безотказной работы сложной системы равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов

$$P_c = P_1 P_2 \dots P_N = \prod_{i=1}^N P_i, \quad (1.22)$$

где P_i —вероятность безотказной работы i -го элемента;

N —число элементов системы.

Отсюда следует, что для получения большого значения вероятности безотказной работы системы необходимо, чтобы входящие в нее элементы имели значительно более высокую вероятность безотказной работы. Таким образом, получение при испытаниях устойчивых значений P_1, P_2, \dots, P_N изделий низшей группы приводит к необходимости увеличения числа испытываемых изделий, а также продолжительности испытаний.

Решив вопрос об объекте испытаний, разрабатывают программу испытаний, которая должна предусматривать: 1) количество испытываемых изделий; 2) общую продолжительность испытаний и продолжительность испытаний при различных внешних воздействиях; 3) периодичность проведе-

ния испытаний; 4) состав и последовательность испытаний на внешние воздействия; 5) параметры испытательных режимов; 6) пределы изменения питающих напряжений и продолжительность работы изделий при этих напряжениях.

Периодичность проведения испытаний изделий зависит от того, к какой группе оно принадлежит. Периодичность проведения испытаний низшей группы обычно меньше, чем у высшей группы, но в обоих случаях она зависит от вида производства и количества изделий, выпускаемых за контролируемый период. Периодичность испытаний следует указывать в ТУ на изделие. К примеру, периодичность испытаний радиоизмерительных приборов определяется при серийном производстве 3—5 годами, а для вновь внедряемых 1—2 годами. Отбор изделий для испытаний производится в порядке, предусмотренном ТУ из числа прошедших приемосдаточные испытания.

Состав и последовательность испытаний на внешние воздействия находятся в зависимости от условий эксплуатации и хранения. Очевидно, что не все внешние воздействия возможно имитировать и они не всегда могут быть приложены совместно, как это бывает в реальных условиях. Поэтому необходимо установить, каким внешним воздействиям и в каких комбинациях должна подвергаться аппаратура, каков уровень их воздействия (целесообразно, чтобы он несколько превышал реальные воздействия), периодичность и последовательность смены указанных воздействий, продолжительность работы аппаратуры в различных режимах.

При определении последовательности испытаний следует исключать случаи, когда одни и те же изделия будут последовательно подвергаться различным уровням внешних воздействий, вызывающим необратимые ухудшения параметров, что затрудняет определение причины

возникновения отказа. В ряде случаев может предусматриваться проведение на некоторых изделиях ускоренных или граничных испытаний, а иногда проведение испытаний в эксплуатационных условиях.

При определении состава испытаний необходимо учитывать возможности моделирования условий испытаний: наличие испытательных средств, расходы, связанные с проведением испытаний, наличие квалифицированного состава испытателей и т. д.

Параметры испытательных режимов устанавливаются в соответствии с действующими ГОСТ, нормами и техническими условиями на испытываемое изделие. Следует отметить, что на практике пользуются тремя видами норм на параметры. Предельные нормы, на которые рассчитывают изделия, приводятся в техническом отчете и по ним испытания не производятся. Испытательные нормы, которые указывают в ТУ, отличаются от предельных на величину производственного допуска и по ним производят испытания в процессе производства. Эксплуатационные нормы, ниже испытательных указываются в ТУ, и только в пределах этих норм разрешается эксплуатация изделий. По этим нормам производятся испытания в процессе эксплуатации.

К программе испытаний должна прилагаться методика их проведения. При разработке методик проведения испытаний необходимо указывать, как должны производиться измерения, чтобы результаты были наиболее надежны и показательны.

В процессе проведения испытаний нужно вести учет и анализ отказов. При этом необходимо выяснить, чем объясняются отступления экспериментальных данных и характеристик от ожидаемых на основании теоретических расчетов. По результатам испытаний определяют предусмотренные в ТУ параметры ЭА, количественные

характеристики надежности, оценивают их соответствие заданным и разрабатывают рекомендации по их повышению. Все материалы по проведенным испытаниям оформляют в виде отчета, который должен содержать: программу и методику испытаний и протокол испытаний с приложением.

Примерная форма протокола с характеристикой содержания его разделов приводится ниже.

Протокол испытаний (наименование объекта)

I. Объект испытаний:

Наименование объекта.

Чертежный номер (шифр).

Заводской номер.

Дата выпуска.

II. Цель испытаний:

1. Определение соответствия ЭА установленным в ТУ требованиям.

2. Определение количественных характеристик надежности и установление их соответствия заданным нормам.

3. Выявление схемных, конструктивных и производственных дефектов, а также недостатков системы контроля качества.

4. Выявление ненадежных деталей, узлов, блоков и установление причин, вызывающих их неисправность и отказ.

III. Место и время испытаний.

Указывается наименование подразделения, проводившего испытания.

Время и дата начала и конца испытаний.

IV. Условия испытаний.

Испытания проводятся в соответствии со специально разработанной методикой на основании действующих ГОСТ, нормативов или другой централизованной документации.

V. Результаты испытаний.

1. Приводятся ведомости неисправностей (отказов (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Ведомость неисправностей (отказов) _____

(наименование объекта)

Чертежный номер (шифр) _____
испытаний _____

Дата начала

Заводской номер _____
испытаний _____

Дата конца

Дата выпуска _____
испытателя _____

Фамилия

| Наработка на отказ | Условия испытаний (тепло, холод, влага и т.д.) | Внешнее проявление неисправностей (отказа) | Причина неисправности (отказа) | № отказавшего элемента по принципиальной схеме | Тип и номинал элемента | Характеристика вида отказа | Примечания |
|--------------------|--|--|--------------------------------|--|------------------------|----------------------------|------------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Примечание. Определение количественных характеристик надежности.

2. Дается количественная оценка надежности испытуемых изделий.

3. Анализируются результаты испытаний.

VI. Выводы и рекомендации по повышению надежности.

1.12. Определение продолжительности испытаний и количества испытываемых изделий (размер выборки)

Основной задачей, которую необходимо решать при составлении программы испытаний, является определение продолжительности испытаний и размера выборки. В зависимости от вида (категории) испытываемого изделия и от того, какие параметры надежности необходимо определить, различают испытания с восстановлением и без восстановления. При испытаниях с восстановлением отказавшее изделие заменяется исправным и, таким образом, под нагрузкой находится неизменное число изделия. При испытаниях без восстановления отказавшие изделия не заменяются. В обоих случаях испытания могут проводиться до заранее установленного момента времени t_{Γ} (определяемого требованиями по надежности) или до момента t_n появления n -го отказа, если $t_n < t_{\Gamma}$, либо до заранее установленного момента времени t_{Γ} , если $t_n \geq t_{\Gamma}$.

Таким образом, возможны три варианта проведения испытаний на надежность по продолжительности восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий:

а) испытания, проводимые до установленного момента времени t_{Γ} ;

б) испытания, проводимые до момента появления n -го отказа;

в) испытания, проводимые либо до момента времени t_n появления n -го отказа, если $t_n < t_{\Gamma}$, либо до установленного момента времени t_{Γ} , если $t_n \geq t_{\Gamma}$.

Если на испытания ставятся N невосстанавливаемых изделий и за время испытаний отказывает n , то число изделий безотказно работающих до момента t будет $N(t) = N - n$. Суммарная наработка $S(t)$ в момент времени t определится как

сумма времен, в течение которых безотказно работали испытываемые изделия:

$$S(t) = \sum_{i=1}^n t_i + N(t)t, \quad (1.23)$$

где t_i - моменты отказов элементов $i = 0, 1, 2, \dots, n$.

При этом возможно еще два варианта испытаний: в первом задают величину суммарной наработки S_0 и испытания проводятся до момента t^* , при котором $S(t^*)=S_0$, или до момента отказа последнего N -го изделия $t_N = t^*$ при $S(t^*) \leq S_0$; во втором задают S_0 и продолжают испытания до момента t^* , который определяется как момент, когда впервые наступает одно из следующих событий: либо $S(t^*)=S_0$ и $p < r$, либо $t^*=t_r$, но $S(t^*) < S_0$, где t_r момент появления r -отказа.

Рекомендуется выбирать время t_r из следующего ряда 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000, 5000, 10000. Продолжительность испытаний каждого экземпляра аппаратуры или ее элементов может выбираться в k раз больше средней наработки на отказ \bar{T}_0 или допустимого времени непрерывной работы, установленного для определенной категории аппаратуры. Выбор продолжительности испытаний существенно зависит от назначения аппаратуры (элементов). Иногда продолжительность испытаний или время, на которое задаются требования по надежности t_r и допустимое значение отказов, указывается в ТТ или ТУ на конкретное изделие, что несколько упрощает работу по составлению программы.

Сокращение времени испытаний может достигаться параллельным проведением различных видов испытаний отдельных групп изделий, а также осуществлением комбинационных испытаний на одновременное воздействие нескольких факторов. Однако в первом случае это приводит к

увеличению числа изделий, необходимых для испытаний, а во втором требует применения сложного оборудования. Кроме того, при комбинационных испытаниях исключается информация о воздействии отдельных факторов на изделие.

Определение количества изделий, необходимых для проведения испытаний (размера выборки), производится методами однократной или двукратной выборок. Под выборкой (выборочной совокупностью) понимают совокупность чисел $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, взятых наугад из некоторого распределения случайной величины x , с плотностью вероятности $\varphi(x)$. Совокупность чисел x называют генеральной совокупностью, а характеристику распределения $\varphi(x)$ генеральной характеристикой.

При нормальном распределении

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (1.24)$$

где x_0 - генеральная средняя;

σ^2 —генеральная дисперсия.

Выборочная совокупность (выборка) может также оцениваться следующими характеристиками:

выборочной средней

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (1.25)$$

размахом выборки

$$\omega_n = x_{\max} - x_{\min}; \quad (1.26)$$

выборочным среднеквадратичным отклонением

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (1.27)$$

Статистические испытания основываются на том, что о генеральной характеристике испытываемой партии изделий судят по выборочным характеристикам.

Очевидно, что при случайной выборке возможно возникновение различных ошибок в оценке партии изделий. Если в результате испытаний партия испытываемых изделий оценивается как негодная, то такую ошибку называют риском изготовителя (поставщика) α .

Если в результате испытаний негодная партия испытываемых изделий оценивается как годная, то такую ошибку называют риском заказчика (потребителя) β . Целесообразно, чтобы обе величины α и β были достаточно малыми (менее 0,05—0,1).

Для оценки степени годности изделий устанавливают три категории качества:

- 1) хорошее изделие, когда некоторый выборочный параметр $x_n \leq x_1$ - определенной постоянной величины;
- 2) допустимое изделие, когда $x_2 > x_n > x_1$ где x_2 - определенная постоянная величина;
- 3) брак $x_n \geq x_2$.

При применении метода однократной выборки от определенного количества выпущенных изделий производится одна случайная выборка определенного (n) объема по некоторому параметру x_n , отвечающему генеральному параметру всей партии изделий. Партия изделий принимается при условии $x_n \leq C$ и бракуется при условии $x_n > C$, где C — оценочный норматив. Оценочный норматив может иметь два

значения. Если оценочный норматив характеризует наименьшее число отказавших изделий в выборке, при котором результаты испытаний считаются отрицательными, то его называют браковочным числом C' . Если оценочный норматив характеризует наибольшее число отказавших изделий в выборке, при котором результаты испытаний считаются положительными, то его называют приемочным числом C .

Пользуясь введенными определениями, получаем, что вероятности риска изготовителя (α) и риска заказчика (β) могут быть записаны в виде следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= P(x_n > C' \text{ при } x_0 = x_1); \\ \beta &= P(x_n \leq C \text{ при } x_0 = x_1); \end{aligned} \right\} \quad (1.28)$$

x_1 и x_2 - некоторые постоянные уровни качества.

Для характеристики уровня качества изделий устанавливают два уровня надежности: минимальное (P_2) и приемлемое (P_1) значения вероятности безотказной работы. Минимальное значение вероятности безотказной работы изделия (P_2) характеризует вероятность приемки, равную риску заказчика β . Приемлемое значение вероятности безотказной работы изделия (P_1) характеризует вероятность забраковывания, равную риску изготовителя. В обоих случаях предполагается, что указанные величины задаются на время ($t\Gamma$), предусмотренное требованиями по надежности изделий, оговоренными в ТТ и ТУ. При испытаниях изделий серийного и массового производства уровни качества устанавливаются по соглашению между изготовителем и заказчиком или могут определяться опытным путем. По результатам испытаний выборки изделий (n) из партии (N) определяют количество отказавших (d) и подсчитывают вероятность безотказной ра-

боты (Р). При этом предполагают, что число отказавших изделий (п) мало по сравнению с объемом партии N ($p < 0,1N$). По величине Р партия изделий может быть отнесена к одной из категорий качества:

- 1) $P \leq P_1$ - хорошее изделие;
- 2) $P_1 < P < P_2$ - допустимое изделие;
- 3) $P > P_2$ - брак.

При планировании испытаний на надежность следует исходить из того, что ряд параметров должен быть задан в ТТ или ТУ.

Испытания могут планироваться по одному уровню надежности Р2 при риске заказчика β или по двум уровням надежности Р1 и Р2 при рисках изготовителя α и заказчика β. Продолжительность испытаний более точно может быть определена в случае, когда известен закон распределения отказов. Если закон распределения отказов по времени неизвестен, то продолжительность испытаний ти рекомендуется выбирать равной времени (tГ), на которое в ТТ и ТУ задаются требования по надежности изделий (Р1) и (Р2). При известном законе распределения отказов во времени испытания можно планировать как при $t_i = tГ$, так и при $t_i \neq tГ$.

Метод однократной выборки характеризуется большим размером выборки и его целесообразно применять для испытаний опытных образцов, когда объем испытаний задается заранее и он сравнительно невелик.

Метод двукратной выборки характеризуется тем, что делаются две выборки объемом n1 и n2 при заданных оценочных нормативах с' и с. Этот метод применяется при $P_2 > 0,9$. По характеристикам первой выборки принимается одно из трех решений: принять партию, забраковать партию или произвести еще одну выборку определенного объема. Пользуясь результатом первой и второй выборок, принимается

одно из двух решений — принять партию при $x_n \leq c_1$ или забраковать партию при $x_n > c_2$. Повторная выборка производится только в случае, когда $c_1 < x_{n1} < c_2$.

Определив объем повторной выборки n2 и выборочный параметр x_{n2} , составляют функцию $f(x_{n1}, x_{n2})$, значение которой сравнивается с оценочным параметром. Партия изделий принимается при выполнении условия $f(x_{n1}, x_{n2}) < c_3$. Риск изготовителя и заказчика при двукратной выборке определяется следующим уравнением:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= P[x_{n1} > c_2 \text{ или } f(x_{n1}, x_{n2}) > c_3 \text{ при } x_0 = X_1] \\ \beta &= P[x_{n1} > c_1 \text{ или } f(x_{n1}, x_{n2}) \leq c_3 \text{ при } x_0 = X_2] \end{aligned} \right\} \quad (1.29)$$

Примем, что уровни качества x1 и x2 определяются уровнями надежности Р1, Р2, а оценочные нормативы c1, c2 и c3 устанавливаются приводимыми ниже соотношениями:

условие приемки по I выборке объема n1

$$\frac{m_1}{n_1} \leq c_1,$$

где m1 — число дефектных изделий в I выборке;

условие браковки по I выборке

$$\frac{m_1}{n_1} > c_2;$$

условие приемки после II выборки объема

$$\frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} \leq c_3,$$

где m2 - число дефектных изделий во II выборке.

Тогда уравнения (23) можно представить в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= P\left(\frac{m_1}{n_1} > c_2 \quad \text{или} \quad \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} > c_3 \quad \text{при} \quad x_0 = P_1\right); \\ \beta &= P\left(\frac{m_1}{n_1} \leq c_2 \quad \text{или} \quad \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} \leq c_3 \quad \text{при} \quad x_0 = P_2\right). \end{aligned} \right\} \quad (1.30)$$

Преобразовав эти уравнения для принятого закона распределения отказов во времени и произведя необходимые вычисления, можно выполнить расчеты, необходимые для планирования испытаний. Определение размера выборки и оценки результатов испытаний по одному уровню надежности методом двукратной выборки производится исходя из следующих данных: β , P_2 и t_{Γ} . Также задаются оценочные параметры c_1 , c_2 и c_3 , но они записываются в удобной для расчетов форме. Для I выборки: браковочное число $C'1=c'2n_1$, приемочное число $C1=c1n_1$. Для II выборки: браковочное число $C'2=c'2n_2$, приемочное число $C2=c'1n_2$, где $c'2 > m_2/n_2$, а $c2 \leq m_2/n_2$.

Метод двукратной выборки целесообразно применять для испытаний серийных изделий, так как он позволяет получить экономию по числу контролируемых изделий. Следует иметь в виду, что выбор количества изделий, необходимых для проведения испытаний, зависит от предполагаемого метода оценки результатов испытаний.

1.13 Основные сведения о климатических и механических факторах, воздействующих на приборы и ЭС

Для разработки технических условий, а так же для составления программы и методики испытаний необходимо знание климатических условий эксплуатации и механических воздействий, которым подвергается ЭА.

Климатические условия (климат) определяются режимами погоды, в разных частях земной поверхности за продолжительный период времени. Основными показателями, характеризующими режим погоды, являются: температура, атмосферное давление, влажность, господствующие ветры и осадки.

Формирование климата на определенной территории обуславливают следующие климатообразующие факторы: радиационный режим, циркуляция атмосферы, влагооборот и местные физико-географические особенности (характер подстилающей поверхности, под которым понимается верхний слой почвы, растительный покров, верхний слой воды, снежный покров, ледяной покров и т. п.). Перечисленные факторы определяют тепловой и водный баланс поверхности Земли в природной географической среде.

Радиационный режим характеризуется распределением радиационного баланса, учитывающего приход-расход энергии солнечной радиации. Составными частями радиационного баланса являются прямая (Q) и рассеянная (q) солнечная радиация, а также эффективное излучение Земли (E), под которым понимают разность между двумя потоками: одного - направленного от земной поверхности к атмосфере, другого - противоизлучения от атмосферы к земной поверхности. Для характеристики отношения отраженной энергии к падающей пользуются числом, носящим название альбедо (a). Часто

альбедо выражают в процентах. Очевидно, что отражение энергии зависит от местных физико-географических условий земной поверхности, включая близость моря, высоту места, направление горных хребтов, морских течений и т. д. Радиационный баланс выражается следующим уравнением:

$$R=(Q + q)(1-a)-E. \quad (1.31)$$

Величину солнечной радиации оценивают числом калорий тепла, приносимого солнечными лучами в единицу времени на 1 см² поверхности. Количество калорий тепла, приносимых солнечными лучами за 1 минуту на 1 см² поверхности, при условии, что исключается ослабляющее действие воздуха, принято называть солнечной постоянной. Оно примерно составляет 2 кал/см² • мин.

На основании многочисленных исследований радиационных условий отдельных пунктов Земли разработаны мировые карты составляющих радиационного баланса и установлено, что среднемесячные суточные значения суммарной солнечной радиации при безоблачном небе (Q_0) являются сравнительно устойчивыми величинами и в основном определяются широтой места и временем года (рис. 1.12).

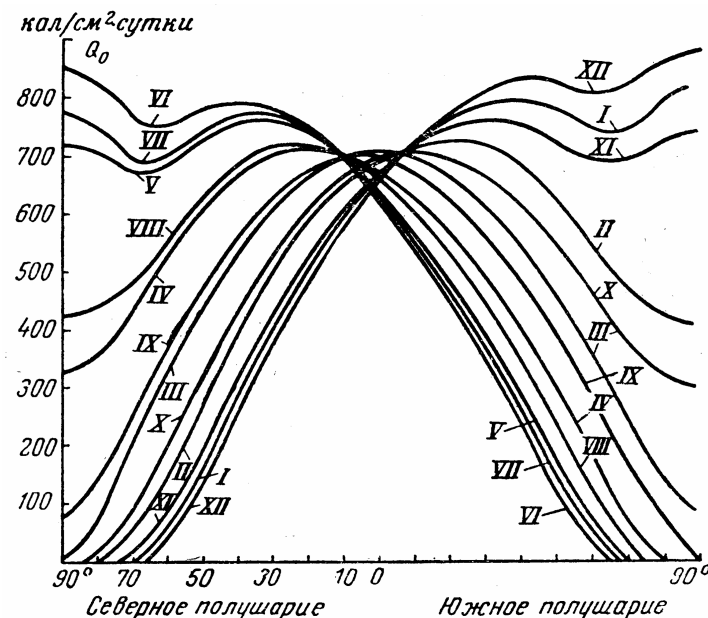


Рис. 1.12. Среднемесячные суточные значения суммарной солнечной радиации при безоблачном небе в зависимости от широты места и времени года

Суточный ход и часовые суммы солнечной радиации зависят от места расположения климатической области и характерных для нее погодных условий (рис. 1.13). Оценка изменчивости солнечной радиации производится отношением ее максимальной величины к минимальной, выраженной в процентах. Наименьшая изменчивость суточных сумм суммарной и рассеянной радиации наблюдается в пустынных районах Земли, что объясняется малооблачностью погоды и преобладанием облаков верхнего яруса, мало ослабляющих солнечную радиацию. Наибольшее различие между максимальным и минимальным значениями имеет место в прибрежных районах умеренных широт, что объясняется

большой изменчивостью погодных условий. Наличие паров воды и пыли в воздухе значительно уменьшает интенсивность солнечной радиации.

Циркуляционные условия характеризуют перемещение воздушных масс (течений), несущих различные количества тепла и влаги, а также изменение их свойств, сопровождающееся образованием поверхностей раздела между разными воздушными массами.

Циркуляционные процессы существенно влияют на формирование климата. Основными причинами общей циркуляции атмосферы является неодинаковое нагревание Солнцем поверхности земного шара, а также вращение Земли, которое приводит к отклонению воздушных течений (в северном полушарии в северо-восточном направлении).

Одним из важнейших факторов, определяющих такие элементы климата, как осадки, испарение, облачность, туманы, влажность, а также его континентальность является влагооборот.

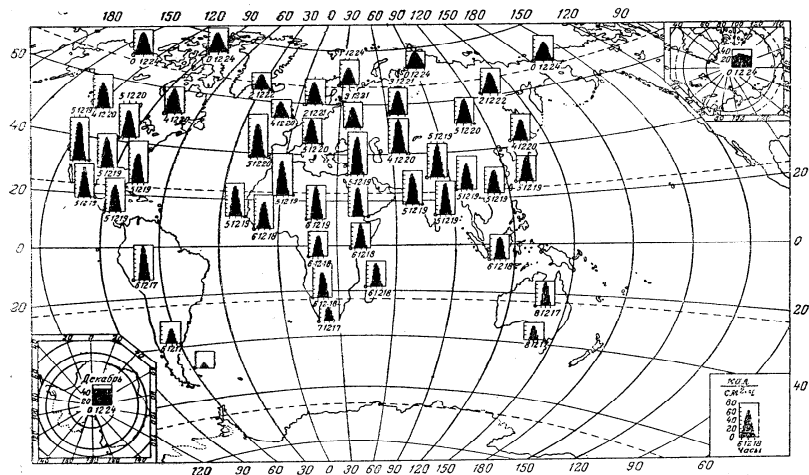


Рис. 1.13. Карта – диаграмма суточного хода суммарной радиации

Под влагооборотом понимают ряд последовательных физических процессов, происходящих с водой: испарение, конденсация (образование облаков), выпадение осадков, а также перенос влаги. Влагооборот зависит от неравномерности нагревания суши и океана, наличия циркуляции воздушных масс и изменения свойств подстилающей поверхности. Влагооборот между сушей и океаном называют внешним, а процесс испарения и конденсации в пределах ограниченной территории - внутренним. Внутренний влагооборот (рис. 1.14) определяет внешняя влага ($г$), которая частично выпадает ($г1$) на территорию в виде осадка, а частично выносится за ее пределы атмосферным стоком ($с$). Часть выпавших осадков испаряется ($Е$), а часть образует поверхностный сток ($Ф$).

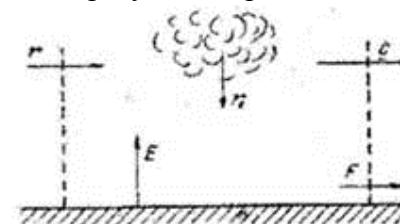


Рис. 1.14. Внутренний влагооборот на ограниченной территории

При массовых гидрометеорологических наблюдениях измерениями учитывается количество выпавших осадков ($г1$) и величина испарившейся влаги ($Е$). Остальные составные части влагооборота не определяются.

Одним из основных компонентов влагооборота является испарение, которое зависит от радиационного баланса (энергетических ресурсов) и условий увлажнения поверхности Земли. Увеличение широты места и уменьшения солнечной радиации (энергетического ресурса) обуславливает убывание испарения. В тропических широтах с большими

энергетическими ресурсами фактором, определяющим испарение, являются условия увлажнения. Для характеристики возможного испарения с поверхности достаточно увлажненной суши пользуются понятием испаряемости. Представляет интерес оценка отношения годовых сумм фактического испарения E к испаряемости E_0 для средних многолетних условий. Указанное отношение можно использовать в качестве показателя распределения влажности разных территорий (рис. 1.15).

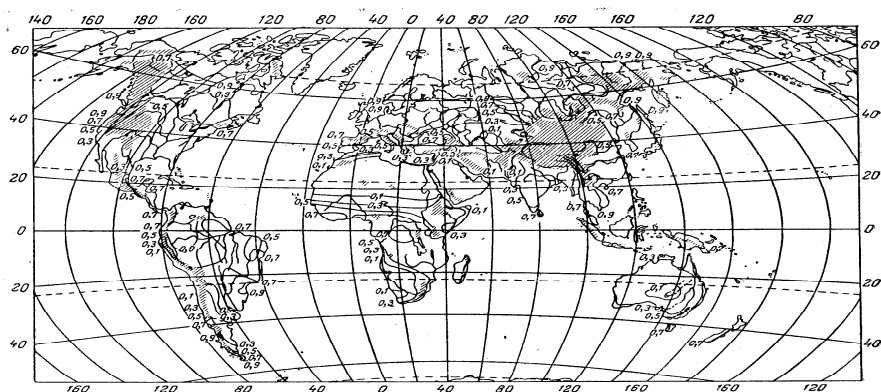


Рис. 1.15. Распределение отношения годовых сумм испарения к испаряемости

Последним климатообразующим фактором являются местные физико-географические условия определенной территории. Физико-географические условия характеризуются географической широтой, высотой над уровнем моря, различием форм рельефа (горные хребты, плоскогорья, возвышенности, низменности и т. п.), а также особенностями подстилающей поверхности. Под действием рассмотренных климатообразующих факторов формируются различные типы

климатов отдельных зон Земли.

Известный климатолог Б. П. Алисов предложил построить классификацию климатов на основе изучения процессов радиации и атмосферной циркуляции в различных широтах. Кроме того, выделяют горный климат, характеризующийся повышением разреженности воздуха и понижением температуры по мере увеличения высоты.

Важнейшими показателями термического режима являются абсолютные годовые минимумы и максимумы температуры. Основными факторами, определяющими изменение температуры, являются широта места, степень континентальности и топографические условия.

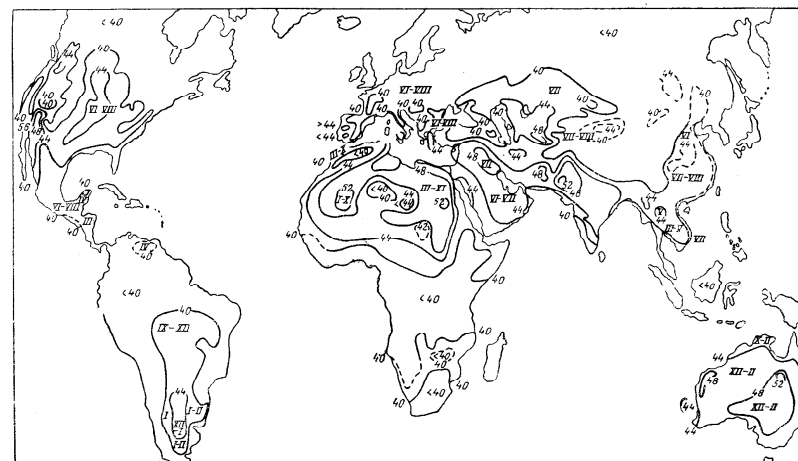


Рис. 1.16. Карта абсолютного максимума температуры воздуха

Влияние первых двух факторов приводит к плавному и последовательному изменению температуры. Распределение абсолютных годовых максимумов и минимумов в основном носит широтный характер, отражая влияние притока тепла от

Солнца и особенности атмосферной циркуляции. Большое влияние оказывает также степень континентальности, влияние морей и океанов и характер подстилающей поверхности (ландшафт). Действие топографических условий (высота над уровнем моря и форма рельефа) нарушает плавный ход, и изменение температуры получает сложный характер.

Карта абсолютного максимума температуры воздуха (рисунок 16) показывает, что температура более 40°C наблюдается до 50° умеренных широт.

На рис. 1.17 представлена карта средних из абсолютных годовых минимумов температур воздуха на земном шаре.

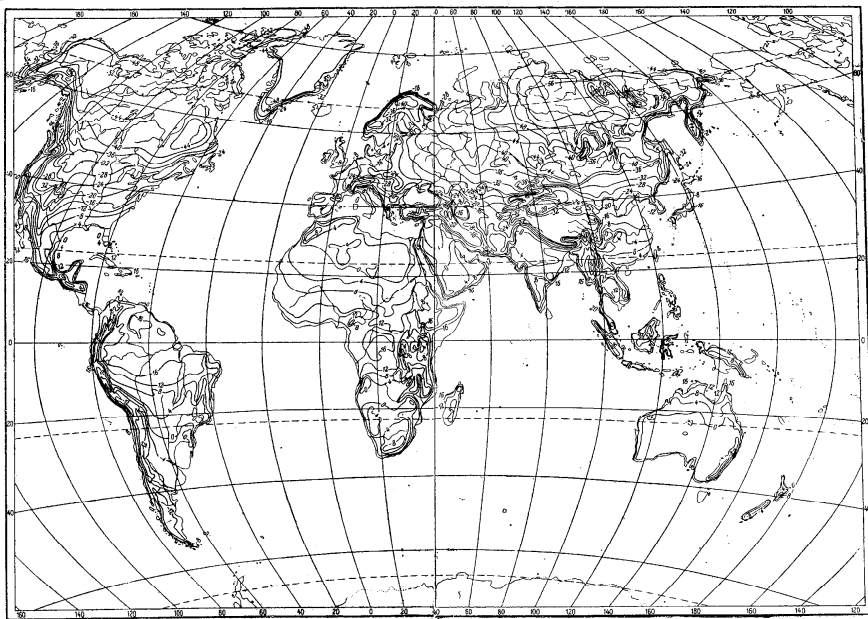


Рис. 1.17. Представлена карта средних из абсолютных годовых минимумов температур воздуха на земном шаре

Рассмотрение климатических условий приводит к выводу, что для различных типов климатов характерны

различные сочетания и длительности воздействующих факторов.

При эксплуатации ЭА в некоторых специфических условиях иногда, кроме учета воздействия климатических факторов, следует также рассматривать воздействие биологических факторов (плесени, различных микроорганизмов, насекомых и грызунов).

Освоение космического пространства приводит к необходимости изучения воздействия космических условий на РЭА.

Помимо климатических воздействий, большинство видов РЭА в процессе своей эксплуатации и при транспортировке подвергаются различным механическим воздействиям. Результатом такого воздействия является возникновение вредного колебательного процесса, получившего название вибрация. Вибрацией принято также называть колебательное движение, воспроизводимое с испытательной целью специальными установками -вибрационными стендами и вибраторами.

Различают периодическую, гармоническую, импульсную и случайную вибрации. Частным случаем импульсной вибрации является одиночный механический импульс, называемый ударом. При этом полагают, что длительность импульса (t_i) много меньше времени до его повторения (T), а результирующий эффект (возникающие силы, ускорения, скорости, смещения) - значителен.

Механические колебательные процессы характеризуются рядом параметров. Если условно колебательное движение изделия заменить колебательным движением точки, то мгновенное значение каждой из ее координат называют перемещением или вибрационным смещением и обозначают $S(t)$.

Первая производная перемещения или вибрационного смещения называется соответственно колебательной или вибрационной скоростью:

$$V = \frac{dS(t)}{dt}, \quad (1.32)$$

а вторая производная - колебательным или вибрационным ускорением:

$$a = \frac{d^2 S(t)}{dt^2}, \quad (1.33)$$

В зависимости от направления перемещения рассматриваемой точки тела вибрация может быть прямолинейной, плоскостной и объемной. При прямолинейной вибрации точка тела остается на одной прямой. Поскольку эта прямая может быть расположена под любым углом α_0 к горизонту, то возможны два крайних случая прямолинейной вибрации: горизонтальная и вертикальная.

При плоскостной вибрации рассматриваемая точка - тела перемещается в одной плоскости. Плоскостная вибрация также может быть горизонтальной и вертикальной. Кроме того, в зависимости от вида фигуры, описываемой точкой тела, она может быть круговой, эллиптической и т. д. Если рассматриваемая точка тела перемещается в некотором объеме пространства, то имеет место объемная вибрация.

Периодической вибрацией называется колебательный процесс, при котором все характеризующие его параметры повторяются через одинаковые промежутки времени T в неизменной последовательности.

Во многих практических случаях несколько колебательных процессов могут протекать одновременно. При этом суммарный эффект определяется алгебраической суммой

мгновенных значений колебательных величин, что приводит к маскировке основного процесса. Если мгновенные значения колебательной величины пропорциональны синусу или косинусу линейной функции времени

$$q = q_a \sin(\omega t + \varphi), \quad (1.34)$$

$$q = q_a \cos(\omega t + \varphi), \quad (1.35)$$

то такой периодический колебательный процесс называется гармоническим или синусоидальным.

Наибольшее абсолютное значение, достигаемое гармонической колебательной величиной, называется амплитудой и обозначается q_a , а аргумент $(\omega t + \varphi)$ в выражениях для q называется фазовым углом.

Два колебания с одинаковой частотой называются синхронными. Наличие у таких колебаний различных начальных фазовых углов φ_1 и φ_2 приводит к тому, что они оказываются сдвинутыми по фазе на угол $\varepsilon = \varphi_1 - \varphi_2$.

Воспользовавшись выражениями (1.28) и (1.29), можно написать выражение для механического смещения S :

$$S = S_a \sin(\omega t + \varphi); \quad (1.36)$$

$$S = S_a \cos(\omega t + \varphi),$$

где S_a - амплитуда смещения; для скорости

$$V = \omega S_a \cos(\omega t + \varphi) = V_a \cos(\omega t + \varphi); \quad (1.37)$$

$$V = -\omega S_a \sin(\omega t + \varphi) = -V_a \sin(\omega t + \varphi),$$

для ускорения

$$a = -\omega^2 S_a \sin(\omega t + \varphi) = -a_a \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 S; \quad (1.38)$$

$$a = -\omega^2 S_a \cos(\omega t + \varphi) = -a_a \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 S.$$

Колебательное ускорение и смещение находятся в противофазе. Амплитуды смещения S_a , скорости V_a и ускорения a_a связаны соотношением

$$a_a = \omega V_a = \omega^2 S_a, \quad (1.39)$$

или для числа колебаний в секунду

$$a_a = (2\pi\nu)^2 S_a, \quad (1.40)$$

где S_a - амплитуда смещения, мм;
 ν - частота колебаний, гц.

При большом числе измерений и вычислений удобно пользоваться номограммой, приведенной на рисунке 18, построенной на основании следующей формулы:

$$a_a = \frac{4\pi^2 \nu^2 S_a}{9807}, \quad (1.41)$$

где a_a - амплитуда ускорения выражена в га.
 На практике удобно пользоваться упрощенной формулой

$$a_a \approx \frac{2S_a}{500} \nu^2 = 0,004S_a \nu^2, \quad (1.42)$$

где $2S_a$ - размах колебания.

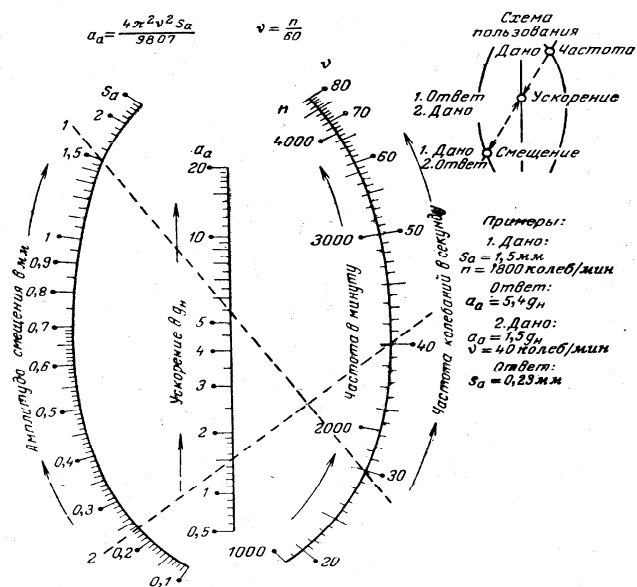


Рис. 1.18. Номограмма для пересчета амплитуд смещения в амплитуду ускорения и обратно

Значения подсчитанные по формуле (1.36), получаются на 0,6% меньше, чем по формуле (1.35). Для сравнительной оценки интенсивности вибрации, выражаемой в величинах мощности P , пользуются логарифмическими единицами - децибелами:

$$M = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad \text{дб}, \quad (1.43)$$

где P - интенсивность мощности вибрации относительно некоторой начальной мощности P_0 .

Колебательный процесс, при котором в течение конечных промежутков времени (пауз) колебательная величина $q = 0$, а в течение промежутков времени t_i отлична от нуля, называется импульсным. Импульсные процессы бывают периодическими и непериодическими. Одиночные механические импульсы являются ударами.

На практике часто имеют место колебательные процессы (вибрация), при которых значения колебательной величины q_1, q_2, \dots в различные моменты времени t_1, t_2, \dots являются случайными. Такие случайные вибрационные колебания можно представить себе как любые непериодические и неповторяющиеся колебания. Случайную вибрацию можно описать как колебание, состоящее из последовательного ряда синусоидальных колебаний всех частот, в которых амплитуды и фазовые углы изменяются случайным образом во времени.

Известно, что свойства колебательного процесса характеризуются его спектром. Различают амплитудный и фазовый спектры колебаний. Амплитудным спектром принято называть совокупность амплитуд гармонических составляющих колебания, а фазовым спектром - совокупность их начальных фазовых углов.

Если гармонические составляющие колебания обладают

дискретными значениями частот, то они образуют линейчатый спектр. Такой спектр имеют периодические колебания, у которых частоты членов тригонометрического ряда Фурье изменяются от предыдущего члена к последующему степенями, равными основной частоте колебания ω :

$$q(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \frac{2\pi}{T}t + a_2 \cos 2\frac{2\pi}{T}t + \dots + a_k \cos k\frac{2\pi}{T}t + \dots + b_1 \sin \frac{2\pi}{T}t + \dots + b_2 \sin 2\frac{2\pi}{T}t + \dots + b_k \sin k\frac{2\pi}{T}t + \dots, \quad (1.44)$$

где $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ и b_1, b_2, \dots, b_k коэффициенты Фурье.

Основную частоту периодических колебаний принято называть базисной. При гармонических колебаниях частоты более высокие, чем базисные, и кратные ей называют высшими составляющими или составляющие высшего порядка (обертонами).

Величина i указывает кратность частоты данной гармонической составляющей относительно основной частоты. Составляющая i -го порядка равна произведению $i\nu$.

Для характеристики степени содержания в периодическом колебании обертонов (высших гармоник) пользуются коэффициентом гармоник (нелинейных искажений), представляющим собой отношение корня квадратного из суммы квадратов амплитуд гармоник выше первой к первой гармонике:

$$\gamma = \frac{\sqrt{S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_k^2}}{S_1}. \quad (1.45)$$

Если гармонические составляющие колебания обладают непрерывной последовательностью частот, то они образуют сплошной спектр, характерный для непериодических колебаний. Данный спектр содержит бесконечно большое число гармонических колебаний с бесконечно-малыми амплитудами.

Известно, что имеется связь между сплошным и ли-

нейчатым спектрами с одной стороны и спектрами одиночного и повторяющегося импульсов с другой (рисунок 19). Если функция $q_i(t)$ описывает некоторый одиночный импульс длительности t_i , а функция $q(t)$ описывает периодический процесс, возникающий при повторении этого же импульса через промежутки времени T , то можно показать, что линейчатый спектр периодической функции $q(t)$ вписывается в сплошной спектр $S_i(\omega)$ функции $q_i(t)$ для одиночного импульса, причем чем меньше частота повторения импульсов $\Omega = 2\pi/T$, тем гуще расположены дискретные линии спектра ($\nu = \omega = i\Omega$). В пределе, когда имеет место одиночный импульс, эти линии заполняют всю ось ω и линейчатый спектр с амплитудами $S_0, S_i, S_a, \dots, S_i$, переходит в сплошной.

Если имеют место беспорядочно следующие один за другим короткие импульсы, то соответствующий им энергетический спектр оказывается постоянным в диапазоне частот. Колебательный процесс, имеющий указанный выше спектр, называют белым шумом (белой вибрацией). На практике белый шум может иметь место при случайной вибрации, но он встречается крайне редко.

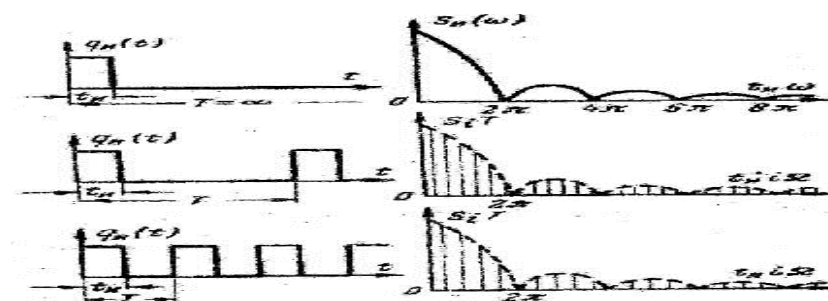


Рис. 1.19. Связь между амплитудными спектрами единичного и периодически повторяющегося импульсов

Для наглядности спектр колебаний изображают графически спектральной диаграммой. Чаще строят или получают с помощью измерительной аппаратуры амплитудную спектральную диаграмму, у которой по оси абсцисс откладываются частоты ν (или ω) гармонических составляющих, входящих в состав колебательного процесса, а по оси ординат из точек соответствующих частот откладывают отрезки, пропорциональные значениям амплитуд.

Колебательное движение является одним из наиболее сложных процессов, так как колеблющаяся точка (тело, изделие) может иметь много степеней свободы и широкий частотный спектр колебаний. Для оценок различных колебательных процессов необходимо в общем случае получить сведения о шести независимых, координатах ($S_x, S_y, S_z, a_x, a_y, a_z$), определяющих положение изделия в пространстве, во времени за достаточно длительный период. Такие сведения желательно иметь в виде осциллографических, магнитных и других видов записей, называемых виброграммами. Виброграммы чаще снимают для линейных смещений $S_x(t), S_y(t), S_z(t)$, но они могут быть сняты и для угловых координат $a_x(t), a_y(t), a_z(t)$. Пользуясь указанными данными, можно в принципе получить и другие параметры колебательных процессов.

1.14. Общие положения об испытаниях

Краткое рассмотрение климатических и механических факторов, воздействующих на ЭА и ее элементы, позволяет определить, каким видам испытаний они должны подвергаться.

Почти вся ЭА испытывается на механические воздействия. В зависимости от целей испытаний на воздействие вибрационных и ударных нагрузок различают проверку на

прочность и на устойчивость. При этом принято считать, что целью проверки на прочность является установление способности изделий противостоять разрушающему влиянию механических воздействий и продолжать после их прекращения нормально выполнять свои функции. Целью проверки на устойчивость является установление способности изделий выполнять свои функции и сохранять электрические параметры в пределах, указанных в ТЗ и ТУ норм при механических воздействиях.

Как показывает анализ, методы проведения указанных испытаний существенно не различаются. Отличие испытаний на прочность от испытаний на устойчивость заключается в продолжительности и в том, что им главным образом подвергаются изделия, не предназначенные для работы в условиях механических воздействий и испытывающие их только при транспортировании. Такой подход оправдывает то, что испытаниям на прочность подвергают не работающие РЭА, а измерение параметров производится до и после механических воздействий. В данном случае проведение испытаний под электрической нагрузкой можно рассматривать, как создание более жестких условий. Испытания на устойчивость проводят: во-первых, для проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять электрические параметры в пределах норм, во-вторых, для выявления нарушений в технологическом процессе производства; в-третьих, при необходимости определения величины, повреждающей нагрузки.

Таким образом, различают следующие виды механических испытаний: виброустойчивость, вибропрочность при длительном или кратковременном воздействии, ударная устойчивость и прочность, устойчивость к воздействию одиночных ударов с большим ускорением, устойчивость к воздействию центробежного ускорения, воздействие звукового

давления, воздействие ускорений при транспортировании, взрывное воздействие, ветроустойчивость, устойчивость к воздействию качки и длительным наклонам, износостойчивость элементов.

Помимо механических испытаний, ЭА и ее элементы подвергают климатическим испытаниям, одним из важных видов которых являются испытания на тепло- и влагоустойчивость. Перед проведением этих испытаний необходимо установить их продолжительность. Различают испытания на длительное и кратковременное воздействия. Выбор длительности зависит от назначения и условий эксплуатации ЭА и оговаривается в ТУ.

Различают следующие виды климатических испытаний: теплоустойчивость при длительном или кратковременном воздействии, влагоустойчивость при длительном или кратковременном воздействии, циклическое воздействие температуры, холодоустойчивость, воздействие инея и росы, воздействие повышенного или пониженного атмосферного давления, воздействие солнечной радиации, воздействие морского тумана, воздействие пыли (пылеустойчивость или пылезащищенность), грибоустойчивость, воздействие дождя, воздействие гидростатического давления.

Непрерывно расширяющиеся работы по созданию новых космических кораблей приводят к тому, что вместо испытаний на воздействие климатических условий околоземной атмосферы необходимо разрабатывать новые методы исследований на воздействие космических условий. Соответственно меняются и уровни механических воздействий. Таким образом, при испытаниях ЭА и ее элементов, устанавливаемых на космических кораблях, их необходимо испытывать на виды воздействий, приведенные в таблице 1.4.

Основным документом, определяющим последова-

тельность работ при испытаниях, является методика испытаний.

Различают три основных способа проведения лабораторных испытаний: последовательный, параллельный и комбинированный.

Последовательный способ предполагает поочередное раздельное воздействие различных внешних факторов на испытываемые РЭА и наблюдение за их состоянием. Важным условием проведения последовательных испытаний является соблюдение определенного порядка воздействия внешних факторов. Рекомендуется начинать испытания с воздействий на ЭА наименее жестких внешних факторов, при которых будет наименьшая опасность отказов. Возникающие при этом внезапные отказы не приводят обычно к большим задержкам во времени для их устранения, а также к росту расходов на испытания. Воздействие определенного внешнего фактора на работу ЭА при данном методе испытаний позволяет более точно определить причины наблюдаемых отказов.

Важную роль играет последовательность проведения испытаний. Установление единой последовательности проведения испытаний для различной ЭА и ее элементов вряд ли оправдано. Оптимальная последовательность проведения испытаний зависит от назначения РЭА, места его установки и предполагаемых условий эксплуатации. Поэтому последовательность проведения испытаний для конкретных изделий указывается в ТУ или программе испытаний. Рекомендуется климатические испытания ЭА и ее элементов проводить после радиотехнических, электрических и механических испытаний.

Недостатком способа является зависимость результатов испытаний от воздействия только одного внешнего фактора, что затрудняет возможность разработки выводов по поведению

ЭА в реальных условиях эксплуатации. Кроме того, данный способ испытаний весьма продолжителен и при его осуществлении имеет место большой износ ЭА.

Параллельный способ испытаний характеризуется тем, что воздействию различных факторов подвергаются одновременно (параллельно) несколько одинаковых ЭА. Данный способ позволяет получить максимальное количество данных о состоянии РЭА за кратчайший промежуток времени при минимальном износе испытываемых образцов.

Комбинированный способ испытаний характеризуется одновременным воздействием ряда различных факторов на испытываемые ЭА. Он позволяет определить реакцию ЭА на одновременное воздействие нескольких внешних факторов, что максимально приближает испытания к реальным условиям эксплуатации. Кроме того, реализация данного способа позволяет экономить время испытаний. Комбинированный способ испытаний выявляет такие отказы, которые при последовательном способе могли бы и не возникнуть. Однако в данном случае определить причину отказа бывает затруднительно, что приводит к необходимости исследования возникшего отказа путем проведения последовательных испытаний.

Выбор сочетаний совместных воздействий различных факторов на испытываемые ЭА и элементы может производиться в соответствии с табл. 1.4.

Таблица 1.4

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

Примечания: 1 - сопровождается механическим износом; 2 - сопровождается ухудшением работоспособности; 3 - механический износ и ухудшение работоспособности; 4 - взаимосвязанные факторы; 5 - один фактор влияет на другой; 6 - взаимно ослабляющие факторы; 7 - несовместимые факторы. X - сочетание факторов не рассматривается. Знак минус после числа 1, 2, 3 означает, что совместное действие факторов уменьшает их влияние.

Следует иметь в виду, что не всегда испытания комбинированным способом приводят к ужесточению условий. Например, низкие температуры препятствуют, росту плесени и коррозии в морских условиях. Часто комбинированные испытания осуществляют из-за невозможности разделения одновременного воздействия нескольких внешних факторов, а также оценки эффекта от их влияния на РЭА: например одновременное воздействие повышенной влаги и температуры. Недостатком комбинированного способа является необходимость создания и использования дорогого и сложного оборудования для испытаний и контроля.

В ряде случаев рекомендуется для ускорения проведения испытаний осуществлять их параллельно-последовательным способом. При этом отобранное количество испытываемых ЭА разбивается на несколько групп, которые испытываются параллельно. В каждой из групп испытания проводят последовательным способом. В данном случае все виды испытаний целесообразно разбить на четыре группы с таким расчетом, чтобы, с одной стороны, продолжительность испытаний во всех группах была примерно одинаковой, а с другой - чтобы объединенные в одну группу виды испытаний были близки к реальным условиям.

Так, например, испытания на грибоустойчивость, на длительное воздействие тепла и морского тумана, на

воздействие солнечной радиации рекомендуется проводить на РЭА, не подвергающихся другим видам механических и климатических воздействий. Возможная разбивка видов испытаний по группы и последовательность их проведения приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

| Группа | Виды испытаний |
|--------|---|
| I | Виброустойчивость Вибропрочность при длительном воздействии Ударная прочность Ударная устойчивость Устойчивость к воздействию центробежного ускорения Воздействие одиночных ударов с большим ускорением Циклическое воздействие температуры Высотность Воздействие солнечной радиации Воздействие пыли (пылеустойчивость и пылезащищенность) |
| II | Теплоустойчивость при длительном воздействии Воздействие морского тумана |
| III | Влагоустойчивость при длительном воздействии Холодоустойчивость Воздействие инея и росы |
| IV | Грибоустойчивость |

Если ЭА и ее элементы предназначены для эксплуатации в условиях тропического климата, рекомендуется испытывать их в следующей последовательности: 1) теплоустойчивость; 2) влагоустойчивость; 3) холодоустойчивость; 4) пониженное атмосферное давление; 5) солнечная радиация; 6) пылеустойчивость; 7) грибоустойчивость; 8) морской туман.

Разработка методики испытаний на воздействие внешних факторов состоит из следующих основных этапов.

На первом этапе на основании технических условий (ТУ) и программы испытаний (ПИ), а также теории и данных экспериментов, полученных в процессе разработки конкретной РЭА с учетом действующих требований, норм и методов механических и климатических испытаний необходимо определить:

1) каким способом будут осуществляться испытания (последовательным, параллельным или комбинированным) и в какой степени выбранный способ испытаний позволит быстро и однозначно определить характер отказов;

2) с помощью каких технических средств будут воспроизводиться внешние воздействия;

3) как будет осуществляться контроль реакции ЭА на внешние воздействия и насколько точно будут контролироваться имитируемые условия окружающей среды;

4) какими способами будут осуществляться закрепление и монтаж испытываемой ЭА на специальных стендах и в камерах.

Важным вопросом является установление интенсивности (жесткости) воздействий, которая зависит от выбора метода испытаний (моделирование реальных условий, ускоренный или граничный методы).

Если установлены корреляционные связи между реальными и ускоренными испытаниями, то целесообразно

проводить последние. При ускоренных испытаниях РЭА подвергается интенсивному воздействию в течение короткого промежутка времени. Разрабатывая методику ускоренных или граничных испытаний, необходимо обратить внимание на возможность их повторения с минимальными отклонениями параметров.

При разработке методики граничных испытаний и испытаний на повреждающую нагрузку необходимо предусмотреть возможность определения коэффициента запаса между способностью изделия работать при перегрузках и работой в реальных условиях эксплуатации.

При установлении интенсивности воздействий различных факторов на ЭА следует решить, рассматривать ли только экстремальные значения параметров, характеризующих внешние воздействия, или же весь спектр возможных значений. Как показывает практика, воздействие экстремальных значений не эквивалентно воздействию спектра. Так, например, при рассмотрении воздействия тепла представляет интерес оценить эффект, создаваемый быстрыми изменениями температуры (тепловой удар).

При рассмотрении воздействия вибрации необходимо оценить эффект, создаваемый вибрацией на одной частоте или спектром частот.

Для установления единства требований, предъявляемых к климатическим и механическим испытаниям элементов радиоэлектронной аппаратуры, Международной электротехнической комиссией (МЭК) разработаны рекомендации по методикам проведения испытаний.

В заключение первого этапа, на основании действующей технической документации и рассмотренных выше мероприятий разрабатывают проект методики испытаний.

На втором этапе, пользуясь проектом методики,

производят предварительные испытания, в ходе которых проверяется соответствие всего технического и контрольно-измерительного оборудования предъявляемым к нему требованиям. На основании полученных в процессе предварительных испытаний данных уточняется методика испытаний, а также режимы всего испытательного оборудования.

На третьем этапе производят полные испытания РЭА в соответствии с разработанной методикой.

На четвертом этапе обрабатывают и анализируют полученные данные, а также вносят необходимые коррективы в методику испытаний.

Место печати ОТК

Основными пунктами методики испытаний на любой вид воздействия являются:

I. Цель испытаний.

II. Применяемое испытательное и контрольно-измерительное оборудование.

III. Процесс проведения испытаний.

IV. Заключение о состоянии испытываемого изделия.

В процесс проведения испытаний входят следующие основные операции:

Первая операция - предварительная выдержка, обеспечивает достижение изделием (ЭА или его элементами) определенного состояния за счет хранения в определенных климатических условиях при заданных механических воздействиях. Обычно РЭА выдерживают без упаковки в нормальных климатических условиях в течение времени, предусмотренном в ТУ или ПИ.

Нормальные климатические условия характеризуются температурой $20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$; относительной влажностью $65\pm 15\%$;

атмосферным давлением 720 -780 мм рт. ст.

Вторая операция - предварительные измерения, устанавливают работоспособность изделия.

Третья операция - установка изделия в камеру.

Четвертая операция - первоначальные измерения параметров, определяют

состояние изделия до испытаний.

Пятая операция - выдержка изделия при воздействии на него определенных климатических или механических факторов, или тех и других совместно, для определения их влияния.

Продолжительность испытаний изделий отсчитывается с момента времени достижения установившегося режима.

Шестая операция - измерение параметров, определение состояния изделия в процессе испытаний (иногда не производится).

Седьмая операция - заключительные измерения (восстановление), проводят по окончании испытаний (в камере или после изъятия из нее) с целью установления, какое влияние на изделие оказали проведенные испытания. Оценка влияния производится путем сравнения результатов заключительных измерений с результатами первоначальных. В ТУ, ПИ или в каком-либо другом руководящем материале должны быть сформулированы указания о мероприятиях в случае возникновения отказа.

Оборудование для климатических и механических испытаний должно обеспечивать проведение испытаний в соответствии с требованиями ТУ, ПИ или методики. В нем должна быть предусмотрена возможность установления заданных режимов, их регулирование и поддержание. Желательно, чтобы оборудование позволяло вести автоматическую запись и программное управление режимами

испытаний. Для контроля времени наработки необходимо снабжать оборудование специальными счетчиками. Оборудование должно иметь электровводы, обеспечивающие подачу питающих напряжений и испытательных сигналов на проверяемые изделия, а также измерение электрических параметров. При необходимости должна быть предусмотрена возможность дистанционного измерения как электрических параметров, так и показателей режимов оборудования.

Уровни электрических и магнитных помех, также как и уровень шумов, создаваемые оборудованием, должны быть минимальными и не превышать санитарно-технических норм.

В оборудовании должна быть предусмотрена световая или звуковая сигнализация его исправности и предельная аварийная сигнализация отключения оборудования.

Установлены следующие условные цвета сигнализации:

- а) красный цвет-запрещающий и аварийный, предупреждающий о превышении режима, перегрузке и т. д.;
- б) зеленый цвет - разрешающий, свидетельствующий о нормальном режиме;
- в) белый цвет, означающий недостаточность в установленных режимах.

Высоковольтные цепи оборудования должны иметь автоблокировки. Все виды оборудования снабжают следующей эксплуатационно-технической документацией:

- а) техническим описанием;
- б) инструкцией по эксплуатации;
- в) формуляром;
- г) паспортами комплектующих измерительных приборов;
- д) монтажными и сборочными чертежами, правилами установки и т. д.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Средства измерения температуры

В качестве датчиков температуры в испытательной технике применяют термопреобразователи сопротивления [3], термоэлектрические преобразователи, жидкостные термометры, дилатометры и пирометры. Наиболее широкое применение получили термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи. Их выпускают в разных исполнениях в зависимости от способа контакта с окружающей средой (погружаемые, поверхностные), условий эксплуатации (стационарные, переносные), защищенности от воздействия окружающей среды (обыкновенные, пылезащищенные, водозащищенные, взрывозащищенные), герметичности, инерционности, устойчивости к механическим воздействиям (обыкновенные, виброустойчивые). Они различаются также по количеству чувствительных элементов для измерения температуры в одной зоне (одинарные, двойные), числу зон (одно- и многозонные) и выводных проводников (два, три, четыре).

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на использовании свойства чувствительного элемента менять свое сопротивление при изменении температуры. Они могут быть проволочными и полупроводниковыми. Материалом проволочных термопреобразователей является, как правило, медь или платина (табл. 2.1). Чувствительный элемент большинства из них представляет собой спираль, намотанную без механических натяжений на каркас из изоляционного материала. Каркас со спиралью помещен в защитный кожух, представляющий собой металлическую или стеклянную гильзу, заполняемую гелием или порошком окиси алюминия. Важным параметром преобразователя является

показатель тепловой инерции или постоянная времени, определяемая как время, в течение которого тело, помещенное в среду с постоянной температурой, нагревается до 63,2 % значения температуры среды.

Таблица 2.1

Основные параметры термопреобразователей сопротивления (по ГОСТ 6651-78)

| Тип термопреобразователя (материал проволоки) | Номинальная статическая характеристика преобразования | Диапазон измеряемых температур, °С | Номинальное сопротивление при 0 °С, Ом | Отношение $W_{100}=R_{100}/R_0$ |
|---|---|--|--|---------------------------------|
| ТСП (платина) | 1П 5П 10П 50П 100П 500П | От-50 до 1100 "-100" 1100 "-200" 1000 "-260" 1000 "-260" 300 | 1 5 10 50 100 500 | 1,3910 |
| ТСМ (медь) | 10М 50М 100М | От-50 до 200 "-50" 200 "-200" 200 | 10 50 100 | 1,4280 |

По этому параметру термопреобразователи сопротивления выпускают с малой тепловой инерцией (не

более 10 с), со средней (не более 60 с) и с большой (более 60 с), что определяется их конструкцией. По точности измерения температуры термопреобразователи сопротивления делят на пять классов (табл. 2.2). Они отличаются большим внутренним сопротивлением, малыми габаритами, высокой механической прочностью.

Таблица 2.2

Допускаемые отклонения параметров

| Допускаемые отклонения | Класс термопреобразователя | ТСП | ТСМ |
|--|----------------------------|---------|---------|
| Номинального сопротивления при 0 °С, % | I | ±0,05 | - |
| | II | ±0,1 | ±0,1 |
| | III | +0,2 | +0,2 |
| | IV | +0,4 | +0,5 |
| | V | +0,5 | ±1 |
| Отклонения 1,391(ТСП) $W_{100}=1,428$ (ТСМ) | I | -0,0015 | - |
| | | -0,0005 | - |
| | II | -0,0015 | ±0,0010 |
| | | -0,0010 | - |
| | III | +0,0015 | ±0,0020 |
| -0,0020 | | - | |
| IV | +0,0015 | ±0,0030 | |
| | -0,0030 | - | |
| V | +0,0015 | +0,0030 | |
| | -0,0050 | -0,0050 | |

Чувствительным элементом термоэлектрического преобразователя является термопара, представляющая собой два разнородных электрода, соединенных в одной точке (рабочий конец термопары). При неравенстве температур рабочего и свободных концов термопары на последних возникает сигнал (термо-ЭДС), пропорциональный разности температур рабочего и свободных концов. Термоэлектрические преобразователи работают в широком интервале температур. Низкие температуры (до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$) измеряют медь-копелевыми, хромель-копелевыми, хромель-алюмелевыми, железо-константановыми и медь-константановыми термопреобразователями, из которых последние получили наибольшее применение. Для измерения более низких температур термоэлектрические преобразователи применяют редко вследствие их невысокой чувствительности, а также значительных погрешностей, обусловленных паразитными ЭДС. Преобразователи типа ТВР используют в вакууме или в инертных средах, так как при высоких температурах на воздухе они окисляются.

Термоэлектрический преобразователь как элемент системы регулирования в значительной степени определяет характеристики температурного устройства испытательной машины. Тепловая инерция термопреобразователя зависит от его конструктивного исполнения, уровня температуры и диаметра термоэлектродов. Выпускают термопреобразователи малой, средней, большой и ненормированной инерционности с показателем тепловой инерции соответственно не более 5, 60, 180 и свыше 180 с для погружаемых и не более 10, 120, 300 и свыше 300 с для поверхностных термопреобразователей. Учитывая высокие метрологические требования, предъявляемые к температурному устройству испытательной машины, применяют термопреобразователи без чехлов, что

существенно снижает их тепловую инерцию.

Жидкостные термометры применяют для контроля температуры. По своему назначению термометры делят на лабораторные, технические, медицинские, метеорологические и др. В испытательной технике в основном применяют лабораторные термометры, а также некоторые модификации технических.

Ртутные стеклянные лабораторные термометры по конструкции делят на два типа: А - палочные из массивных капиллярных трубок со шкалой на внешней поверхности; Б - с вложенной шкальной пластиной, заключенной внутри оболочки термометра. Цена деления термометра определяет его группу, а пределы измерения - порядковый номер. Основные технические данные термометров приведены в табл. 2.3.

Максимальная температура применения не ртутных жидкостных стеклянных термометров $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве наполнителей (термометрических жидкостей) используют толуол, спирт, керосин, петролейный эфир. Термометры изготовляют трех типов: А - палочные с наружным диаметром капиллярных трубок 3-12 мм со шкалой на внешней поверхности; Б - с вложенной шкальной пластиной; В - с наружной шкальной пластиной.

Таблица 2.3

Основные технические данные лабораторных ртутных термометров (по ГОСТ 215-73)

| Группа | Номер термометра | Пределы измерения, °С | Цена деления, °С | Длина термометра, мм | |
|--------|------------------|-----------------------|------------------|----------------------|-----|
| 1 | 1 | От -30 до 70 | 1 | 250 | |
| | 2 | 0-100 | | 280 | |
| | 3 | 0-150 | | | |
| | 4 | 0-250 | | | |
| | 5 | 0-360 | | | |
| | 6 | 6 | 0-450 | 2 | 400 |
| | | 7 | 0-500 | | 450 |
| | | 8 | 0-600 | | 520 |
| 2 | 1 | От -30 до 70 | 0,5 | 320 | |
| | 2 | 0-105 | | | |
| | 3 | 100-205 | | | |
| | 4 | 200-300 | | | |
| 3 | 1 | От -30 до 25 | 0,5 | 160 | |
| | 2 | 0-55 | | | |
| | 3 | 50-105 | | | |
| | 4 | 100-155 | | | |
| | 5 | 150-205 | | | |
| | 6 | 200-255 | | | |
| | 7 | 250-305 | | | |
| | 8 | 300-360 | | | |
| 4 | 1 | От -30 до 25 | 0,1 | 530 | |
| | 2 | 0-55 | | | |
| | 3 | 50-105 | | | |
| | 4 | 100-155 | | | |
| | 5 | 150-205 | | | |
| | 6 | 200-255 | | | |
| | 7 | 250-305 | | | |
| | 8 | 190-260 | 0,2 | | |
| | 9 | 240-310 | | | |
| | 10 | 290-360 | | | |

Все выпускаемые термометры рассчитаны либо на частичное погружение в измеряемую среду (неполное погружение), либо на погружение до считываемой температуры (полное погружение). На термометрах, рассчитанных на частичное погружение, имеется указание о глубине погружения и температуре градуировки.

По ГОСТ 9177-74, изменение показаний термометров с частичным погружением при отклонении температуры окружающей среды от 20 °С на величину до ±10 °С не должно превышать двух делений шкалы.

В испытательных устройствах широко применяют ртутный электроконтактный термометр, в капилляре которого с помощью магнитной головки по винту перемещается подвижный рабочий контакт. Задание требуемой температуры осуществляется посредством установки подвижного контакта по шкале термометра на нужный уровень. По достижении заданной температуры термометр (ртуть) замыкает электрическую цепь регулятора температуры, последний производит необходимые коммутации энергетических агрегатов. Таким образом, ртутные электроконтактные термометры могут служить датчиками системы регулирования. По конструкции электроконтактные термометры делят на два типа: ТЗК - с заданным постоянным рабочим контактом; ТПК - с подвижным рабочим контактом, по исполнению - на прямые (П) и угловые (У). В испытательной технике в основном применяют термометры типа ТПК, дающие возможность стабилизировать тепловой режим на любом температурном уровне в пределах шкалы термометра. Минимальная температура контактирования термометров -30 °С, максимальная 300 °С.

Допускаемая погрешность термометров ТПК и погрешность установки точки контактирования не превышают цены деления шкалы.

Дилатометр относится к механическим датчикам и представляет собой устройство, принцип действия которого основан на изменении размера тел при повышении или понижении температуры. На рис. 1 показан дилатометрический датчик машины для испытания на ползучесть и длительную прочность. Датчик состоит из двух тяг: 1 и 9, жестко соединенных с концами жароупорной трубы 10. Линейные размеры которой зависят от температуры в рабочем пространстве высокотемпературного устройства. На конце тяга 1 закреплена ось 5, вокруг которой поворачивается рычаг 4. На рычаге закреплён подвижный контакт 6, а на тяге 1 - неподвижные контакты 7 и 8.

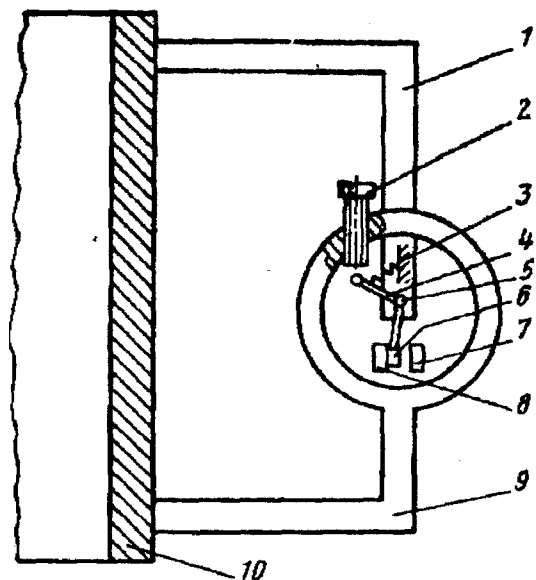


Рис. 2.1. Схема дилатометрического датчика

Система настраивается на заданный температурный уровень с помощью регулировочного винта 2. При увеличении температуры относительно заданного уровня труба 10 расширяется, нижний конец винта 2 перемещается вниз и воздействует на головку рычага 4, последний поворачивается вокруг оси 5 и замыкает подвижный контакт 6 с контактом 7. При уменьшении температуры относительно заданного уровня под воздействием пружины 3 рычаг возвращается в исходное состояние, при этом замыкаются контакты 6 и 8. Таким образом, дилатометрический датчик имеет два выходных состояния, т. е. заранее обуславливает позиционный характер регулирования, что является основным его недостатком. К другим недостаткам относятся невысокая чувствительность и большая постоянная времени, т. е. большое запаздывание ввиду значительной инерционности трубы, являющейся одним из передаточных звеньев в цепи «температура - выходной сигнал».

Принцип действия пирометров основан на измерении суммарной энергии или состава излучения нагретых тел. Они позволяют измерять температуру в широких пределах, дистанционно. В зависимости от принципа действия их подразделяют на пирометры суммарного излучения, называемые также радиационными, яркостные или оптические пирометры, фотоэлектрические и цветовые пирометры.

Принцип действия радиационного пирометра основан на измерении интегральной энергии излучения, пропорциональной 4-й степени температуры тела. Основой радиационного пирометра является телескоп, состоящий из теплоприемника и оптической системы, концентрирующей на теплоприемник суммарный лучистый поток тела, температура которого подлежит измерению. Теплоприемником обычно служат несколько термодпар, соединенных последовательно в

термобатарей. Градуировку пирометров производят по абсолютно черному телу с коэффициентом лучеиспускания (черноты) $E = 1$. При измерении температуры реальных физических тел $E < 1$, поэтому пирометр показывает радиационную температуру T_p меньшую, чем истинная температура тела T , которая может быть определена по формуле:

$$T = T_p \cdot \sqrt[4]{1/E} \quad (2.1)$$

При пользовании радиационным пирометром следует учитывать возможность появления погрешности, обусловленной поглощением теплового потока в промежуточной среде между телескопом и излучателем. Например, столб воздуха длиной 50- 100 см поглощает при обычных условиях 3-6 % лучистой энергии, что дает погрешность измерения 0,7 -1,5%.

В качестве вторичных приборов для измерения термо-ЭДС батареи радиационного пирометра используют милливольтметры и электронные потенциометры.

Оптические или яркостные пирометры измеряют температуру по монохроматической яркости тела в видимой области спектра. Оптические пирометры, так же как и радиационные, градуируют по излучению абсолютно черного тела. Поэтому при измерении температур реальных тел с монохроматическим коэффициентом лучеиспускания $E < 1$ они показывают более низкую по сравнению с действительной, так называемую яркостную монохроматическую температуру T_λ . Истинная температура T с учетом поправки на неполноту излучения может быть определена по формуле

$$T = \left(\frac{1}{T_\lambda} - \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{E} \right)^{-1} \quad (2.2)$$

где C_2 - постоянная Планка, λ - длина волны.

Монохроматическую яркость нагретого тела определяют, сравнивая его яркость с яркостью нити эталонной лампы, температура которой известна. Сравнение осуществляют двумя способами: изменением электрического тока в нити эталонной лампы до тех пор, пока ее яркость не сравняется с яркостью изображения тела и нить исчезнет на его фоне (пирометры с исчезающей нитью накала); изменением яркости изображения нагретого тела оптическим клином до тех пор, пока она не сравняется с яркостью нити эталонной лампы при постоянном токе в ней. Чувствительным элементом, определяющим совпадение яркостей эталонной нити и нагретого тела, служит обычно глаз человека, что исключает возможность производить автоматическую запись температуры и использовать пирометр в системах автоматического регулирования.

В фотоэлектрических пирометрах сравнение яркостей тела и нити лампы осуществляют фотоэлементом. В отечественном пирометре частичного излучения ФЭП-4 применяют вакуумные сурьмяно-цезиевые фотоэлементы со спектральной характеристикой, аналогичной характеристике глаза. Как и в яркостных пирометрах, с помощью красного светофильтра выделяется узкая спектральная область с эффективной длиной волны $\lambda_{эф} = 0,65$ мкм. Принцип действия пирометра основан на периодическом (50 Гц) и поочередном освещении фотоэлемента нагретым телом, температура которого подлежит измерению, и лампы. Оба световых потока изменяются в противофазе. При их неравенстве в цепи фотоэлемента возникает переменная составляющая фототока, которая после усиления воздействует на питание лампы. Ток накала лампы изменяется до тех пор, пока освещенности от измеряемого тела и лампы не уравниваются и переменная

составляющая фототока не станет равной нулю. Таким образом, сила тока в лампе однозначно связана с температурой измеряемого тела. Выходной сигнал пирометра снимают с сопротивления, включенного в цепь питания лампы.

В цветковых пирометрах интенсивность монохроматического излучения тела измеряют при какой-либо температуре для двух участков длин волн, например, для красного и сине-зеленого участков видимой части спектра, отношение этих интенсивностей зависит от температуры. Это следует из закона Вина, согласно которому максимум интенсивности излучения с увеличением температуры смещается в область более коротких длин волн. Следовательно, измерив две яркостные температуры тела для разных монохроматических излучений с длинами волн λ_1 и λ_2 , можно по отношению этих температур найти так называемую цветовую температуру тела T_c . Истинную температуру тела определяют из выражения:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_c} - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{C_2 (\lambda_1 - \lambda_2)} \ln \frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}} \quad (2.3)$$

Пирометры имеют преимущества перед контактными преобразователями в следующих случаях:

- в температурных диапазонах и средах, где не может быть обеспечена долговременная устойчивость контактных преобразователей;

- при необходимости обеспечения высокого быстродействия;

- если контакт термоэлектрического преобразователя с объектом измерения затруднен или невозможен; если контакт термоэлектрического преобразователя с объектом измерения недопустим ввиду искажения им температурного поля.

Существенным недостатком пирометров является

зависимость истинной температуры тела от коэффициента лучеиспускания, точная оценка которого в большинстве случаев затруднительна. Наиболее надежные значения истинной температуры могут быть получены в условиях, когда значение E приближается к единице.

Основные характеристики отечественных пирометров, применяемых для измерения температуры в испытательных машинах, указаны в табл. 2.4.

Микропирометры ОМП-054, ВИМП-015М, ЛМП-066 и пирометр «Проминь» принадлежат к визуальным яркостным пирометрам с исчезающей нитью накала. Прибор ПИРС-019 представляет собой телескоп для измерения радиационной температуры. Приборы «Веселка» работают по принципу определения «цветовой» температуры. Их выпускают в виде пирометров и пирометрических преобразователей с унифицированными выходными сигналами ГСП. Микропирометр ФЭМП-021 и пирометр ФЭП-4 принадлежат к фотоэлектрическим пирометрам. Последний имеет объективы трех типов, а также линзы с разными фокусными расстояниями, что дает возможность работать при разных расстояниях от пирометра до объекта. Разработан агрегатный комплекс стационарных пирометрических преобразователей и пирометров типа АПИРС, в него входят пирометрические преобразователи полного излучения - термоэлектрические (ППТ) и частичного излучения - фотодиодные (ПЧД), вторичные измерительные преобразователи преобразования сигнала первичного преобразователя в унифицированный выходной сигнал 0-5 мА; 0-100 мВ или 0-10 В.

Набором комбинаций функциональных блоков можно создавать различные модификации преобразователей в диапазоне 30 -2500 °С.

Таблица 2.4

Основные характеристики и
пирометрических преобразователей

| Тип пирометра | Основная погрешность, °С | Номинальное расстояние | Диапазон измерений, |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| ОМП-054, ЛМП-066, ВИМП-015М | ±12 ±14 ±20 ±50 | 170 | 400-850 · 800-1400 1200-2000 1800-4000 |
| «Проминь» | ±14 ±20 ±150 | 700 | 800-1400 1200-2000 1800-5000 |
| ПИРС-019 | ±2 ±2,5 ±3 ±4,5 | - | 20-100 40-150 50-200 100 -300 |
| «Веселка-1» | ±0,6% | 300 | 1400-1600 1550-1800 1700-2000 1900-2300 2200-2600 |
| «Веселка 2» | ±0,6% | 300 | 750-950 900-1100 1000-131 1200-1500 |
| «Веселка-3» | ±1,5% | 300 | 300-500 450-800 |
| «Веселка-4» | ±0,6% | 300 | 1300-1800 1600-2200 2000-2800 |
| | ±1% | | 2500-3000 |

Продолжение табл. 2.4

| | | | |
|-------------|-------|--------|----------------------|
| «Веселка-5» | ±1,5% | 300 | 500-800 |
| | ±1% | | 700-1100 900-1400 |
| «Веселка-6» | ±2% | 300 | 200-500 300-700 |
| | ±1,5% | | 500-800 |
| ФЭМП-021 | ±1,5% | Св.400 | 900-3600 |
| ФЭП4М | ±1% | Св.200 | 500-900 |
| | | | 600-1000 |
| | | | 600-1100 |
| | | | 800-1300 |
| | | | 850-1400 |
| | | | 900-1500 |
| | | | 1000-1700 1100- |

Логометры. Для измерения температуры с помощью термометров широко применяются магнитоэлектрические логометры. Логометр имеет подвижную часть, состоящую из двух жестко скрепленных под небольшим углом рамок [1].

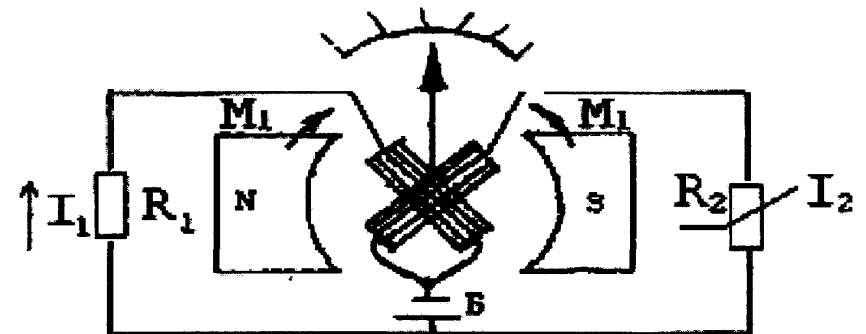


Рис. 2.2. Логометр

Действие прибора основано на измерении отношения токов, протекающих через рамки. Уравновешивание рамок

достигается посредством взаимодействия противоположных вращающих моментов рамок. Важно, что показания логометра не зависят от колебаний напряжения источника питания.

При изменении сопротивления R_2 от температуры меняются соответственно ток в одной из рамок и соотношение крутящих моментов M_1 и M_2 ; стрелка при этом отклоняется. Поскольку отклонение стрелки зависит только от изменения сопротивления то шкалу логометра можно градуировать в градусах Цельсия или Кельвина.

Для увеличения чувствительности логометр совмещают с измерительным мостом. В лабораторных условиях для измерения температуры довольно часто используются потенциометры типа ПП-63.

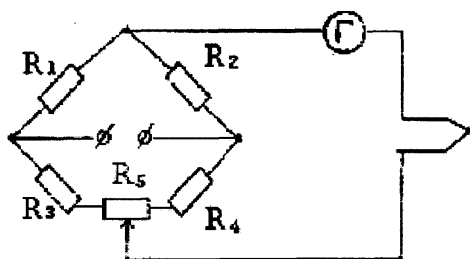


Рис. 2.3. Потенциометр ПП-63

где: R_5 - магазин сопротивлений. Термо-ЭДС с термопары уравнивается до падения напряжения равного по величине, но обратного по знаку напряжению от источника тока, имеющегося на приборе.

Для измерения температуры используют усилители постоянного или переменного тока. Как правило, терморезистор включают в цепь обратной связи.

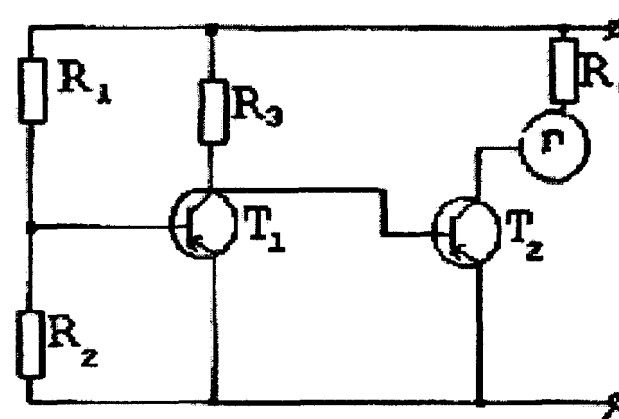


Рис. 2.4. Усилитель постоянного тока

2.2. Средства измерения влажности воздуха

Измерение и дистанционный контроль влажности воздуха осуществляют следующим образом.

1. Используют психрометрический метод, основанный на измерении температур двумя термометрами - сухим и влажным. Влажный термометр находится в термодинамическом равновесии с окружающей средой. Испарение с поверхности влажного термометра происходит тем интенсивнее, чем ниже влажность окружающего воздуха. Разность показаний термометров зависит от значения влажности воздуха, приведенных в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Зависимость разность показаний термометров от значения влажности воздуха

| Показан ия „сухого“ термоме тра, °С | Разность показаний „сухого“ и „мокрого“ термометров, °С | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Относительная влажность, % | | | | | | | | | | |
| 10 | 100 | 88 | 76 | 65 | 51 | 44 | 34 | 24 | 14 | 4 | |
| 12 | 100 | 89 | 78 | 68 | 57 | 48 | 38 | 29 | 20 | 11 | - |
| 14 | 100 | 90 | 79 | 70 | 60 | 51 | 42 | 33 | 25 | 17 | 9 |
| 16 | 100 | 90- | 81 | 71 | 62 | 54 | 45 | 37 | 30 | 22 | 15 |
| 18 | 100 | 91 | 82 | 73 | 64 | 56 | 48 | 41 | 34 | 26 | 20 |
| 20 | 100 | 91 | 83 | 74 | 66 | 59 | 51 | 44 | 34 | 30 | 24 |
| 24 | 100 | 92 | 84 | 77 | 69 | 62 | 56 | 49 | 43 | 37 | 31 |
| 28 | 100 | 93 | 85 | 78 | 72 | 65 | 59 | 53 | 48 | 42 | 37 |
| 30 | 100 | 93 | 86 | 79 | 73 | 67 | 61 | 55 | 50 | 44 | 39 |

2. Применяют метод точки росы, заключающийся в определении температуры, до которой необходимо охладить ненасыщенный воздух, чтобы довести его до состояния насыщения.

3. Определяют влажность воздуха с помощью сорбционных гигрометров деформационного типа.

4. Определяют влажность воздуха с помощью гигрометров, принцип действия которых основан на зависимости механических свойств некоторых материалов от влажности окружающей среды.

К наиболее распространенным приборам этого типа относят волосяные гигрометры, использующие свойство обезжиренных волос изменять свою длину при изменении влажности воздуха. Точность измерения волосяных

гигрометров не превышает $\pm 5\%$ Психометрический метод основан на зависимости между упругостью водяного пара e (гПа) и показаниями сухого t_c и влажного t_v термометров

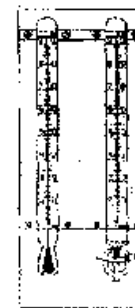


Рис. 2.4. Психрометр

$$e = E_{\max} - A \cdot p \cdot (t_c - t_v), \quad (2.4)$$

где E_{\max} - максимально возможная упругость водяного пара при температуре t_a гПа (табл. 2.8); A - психрометрический коэффициент, учитывающий скорость движения влажного воздуха. Для скорости воздуха 2-2,5 м/с $A = 79,47 \cdot 10^{-5}$. Поскольку с уменьшением скорости коэффициент несколько увеличивается, для практических расчетов он может быть принят равным 10^{-3} , p - атмосферное давление, гПа. По этой формуле легко определить относительную влажность воздуха как $\phi = e/E$, где E - максимальная упругость водяного пара при температуре t_c , гПа.

Точность психрометрического метода определяется главным образом погрешностями измерения температур t_c и t_v .

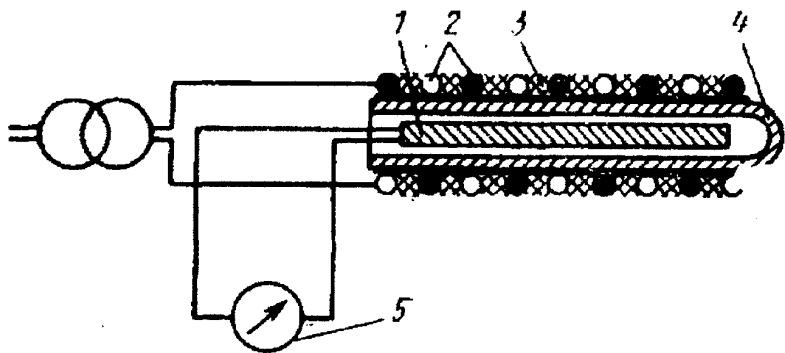


Рис. 2.5. Конструкция хлористолитиевого чувствительного элемента

Таблица 2.6

Значения максимальной упругости воздуха

| t, °C | E, гПа | t, °C | E, гПа | T, °C | E, гПа |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 12, | 23 | 28, | 36 | 5 |
| 1 | 13. | 24 | 29, | 37 | 6 |
| 1 | 14. | 25 | 31. | 38 | 6 |
| 1 | 14, | 26 | 33. | 39 | 7 |
| 1 | 15. | 27 | 35, | 40 | 7 |
| 1 | 17, | 28 | 37. | 41 | 7 |
| 1 | 18, | 29 | 40, | 42 | 8 |
| 1 | 19, | 30 | 42, | 43 | 8 |
| 1 | 20, | 31 | 44, | 44 | 9 |
| 1 | 21, | 32 | 47, | 45 | 9 |
| 2 | 23, | 33 | 50, | 46 | 1 |
| 2 | 24. | 34 | 53, | 47 | 1 |
| 2 | 26, | 35 | 56, | 48 | 1 |

Для получения большей точности измерения в большинстве электрических психрометров предусмотрены устройства для аспирации воздуха с постоянной скоростью не ниже 3-4 м/с. Увлажняющий фитиль мокрого термометра должен обладать хорошей всасывающей способностью, при этом температура воды не должна значительно отличаться от температуры сухого термометра. К преимуществам психрометрического метода можно отнести достаточную точность при положительных температурах и не очень большую инерционность. В качестве чувствительного элемента могут применяться ртутные стеклянные термометры, термопреобразователи сопротивления, термисторы. Для смачивания термометра применяют 3%-ный раствор формальдегида.

Метод точки росы основан на зависимости:

$$\varphi = 100E_r / E_t, \quad (2.5)$$

где: E_r - упругость насыщенного пара при температуре точки росы;

E_t - упругость насыщенного пара при температуре t .

При неизменном давлении точка росы не зависит от температуры воздуха. Погрешность определения относительной влажности методом точки росы прямо пропорциональна относительной влажности и погрешности измерения температуры и обратно пропорциональна квадрату абсолютной температуры точки росы.

При сорбционном методе о влажности судят по изменению электропроводности пленки, на которой нанесен поглотитель влаги - сорбент. Конструкция чувствительного элемента для измерения относительной влажности воздуха показана на рис 2.5. Чувствительный элемент состоит из

изолированной металлической гильзы 4, покрытой стеклянным волокном 3, пропитанным водным раствором хлористого лития. Чувствительный элемент подогревают с помощью спирально намотанных электродов 2. Так как солевой раствор хлористого лития хорошо проводит электрический ток, то цепь от вторичной обмотки понижающего трансформатора через электроды замыкается раствором соли хлористого лития. При этом вода, содержащаяся в растворе соли, испаряется, сопротивление раствора увеличивается и нагрев уменьшается. При испарении чувствительный элемент охлаждается и вследствие гигроскопичности соли хлористого лития начинает поглощать влагу из окружающей среды.

В установившемся режиме подведенная энергия полностью расходуется на испарение воды из солевого раствора. Таким образом, нагрев чувствительного элемента определяется величиной сопротивления солевого раствора хлористого лития, которое, в свою очередь, определяется относительной влажностью воздуха окружающей среды. Равновесие наступает при температуре точки росы. Эту температуру измеряют малоинерционным термопреобразователем сопротивления 1, помещенным в гильзу измерителя влажности и соединенным с измерительным прибором 5. Электролитические элементы применяют не только для измерения температуры точки росы, но и для измерения относительной влажности воздуха. В измерительных схемах используют неравновесные мостовые и компенсационные схемы.

2.3. Вакуумные машины и установки

При проектировании вакуумных машин и установок выбор откачных средств должен производиться с учетом

физических явлений, лежащих в основе работы насосов различных типов, а также характерных особенностей их эксплуатации [2]. Существующие вакуумные насосы в зависимости от принципа действия можно разделить на несколько групп: 1) объемные, 2) инжекторные, 3) диффузионные, 4) молекулярные, 5) ионно-сорбционные, 6) криогенные.

К объемным насосам относятся вращательные, двухроторные, поршневые и водокольцевые механические насосы. Принцип действия их основан на периодическом заполнении объема рабочей камеры насоса откачиваемым газом, последующим сжатием и вытеснением его в другой насос или в атмосферу. Наибольшее распространение получили вращательные насосы, которые в свою очередь делятся на пластинчато-роторные, пластинчато-статорные и плунжерные. Все они имеют рабочий орган, совершающий во время сжатия и вытеснения газа вращательное движение. Сжатие газа обеспечивается эксцентричным расположением осей ротора и статора и наличием разделяющей камеры всасывания и сжатия подвижной пластины, расположенной в пластинчато-роторных насосах в роторе, а в пластинчато-статорных - в статоре. В плунжерных насосах вместо разделительной пластины используется плунжер, совершающий качательное движение.

Во все вращательные насосы для улучшения условий трения движущихся частей и создания герметичного уплотнения масляной пленкой заливается рабочая жидкость - вакуумное масло ВМ-4 или ВМ-6. Пластинчато-роторные насосы обычно имеют не большую производительность. Их быстроты откачки при давлении 760-1 торр лежат в пределах от 0,1 до 6 л/с. Предельное давление $5 \cdot 10^{-2}$ торр для одноступенчатых и $5 \cdot 10^{-3}$ торр для двухступенчатых

конструкций.

Основные характеристики современных пластинчато-ротных насосов представлены в табл. 2.7. Все насосы, кроме ВН-494 и ВН-01, снабжены газобалластными устройствами и могут откачивать пары воды при парциальном давлении 17 торр.

Таблица 2.7

Характеристики пластинчато-ротных насосов

| Основные характеристики | ВН 494 | ВН 01 | ВН 01 | НВР 0 25Д | НВР О 5Д | НВР 1Д |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Быстрота откачки в диапазоне давлении | 0,21 | 0,1 | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1.0 |
| Предельное остаточное давление, торр полное с газобалластом | - | - | - | 1 10 ⁻² | 1·10 ⁻² | 1·10 ⁻² |
| Без газобалласта | 5·10 ⁻³ | 3·10 ⁻³ | 3·10 ⁻³ | 5·10 ⁻³ | 5·10 ⁻³ | 5·10 ⁻³ |
| Парциальное (по воздуху) | 1·10 ⁻³ | 3·10 ⁻³ | 3·10 ⁻³ | 5·10 ⁻⁴ | 1·10 ⁻⁴ | 5·10 ⁻⁵ |
| Частота вращения ротора об/мин | 360 | 1390 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Объем масла, заливаемого в насос, л | 1.5 | - | - | 0.86 | 1.2 | 2,3 |
| Мощность асинхронного трехфазного электродвигателя (50) | 0,6 | 0,08 | 0,12 | 0,18 | 0,27 | 0,4 |
| Диаметр впускного патрубка | 10 | 8 | 8 | 10 | 15 | 25 |
| Габаритные размеры, мм | 437 | 140 | 306 | 330 | 380 | 450 |
| Ширина | 300 | 13 | 135 | 243 | 278 | 325 |
| Высота | 325 | 29 | 170 | 229 | 255 | 335 |
| Масса насоса с приводом, кг | 34,0 | 6,6 | 8,3 | 16,5 | 26,5 | 38,0 |

Газобалластное устройство напускает атмосферный воздух в камеру сжатия насоса, уменьшает коэффициент компрессий и предотвращает конденсацию паров воды внутри насоса.

Пластинчато-статорные насосы ВН-461М, ВН-461МГ и РВН-20 имеют предельное давление 2·10⁻² торр при быстроте откачки несколько литров в секунду, а плунжерные ВН-2МГ, ВН-1МГ, ВН-4Г, ВН-6Г, ВН-300, ВН-500 имеют быстроты откачки десятки и сотни литров в секунду и предельное давление от 2 до 5 · 10⁻² торр. Все насосы, кроме РВН-20 и ВН-461М, снабжаются газобалластными устройствами. Все вращательные насосы являются источником миграции масла в откачиваемый сосуд, а в момент запуска наблюдается выбросы масла, защита от которых должна обеспечиваться маслоотбойниками и ловушками. При остановке насоса, необходимо обеспечивать равенство давлений во всасывающем и выхлопном патрубках насоса, чтобы избежать выдавливания масла атмосферным давлением из насоса в вакуумную систему.

Удельные затраты мощности вращательных насосов в среднем составляют 400 Вт/(л/с).

Двухроторные насосы откачивают газ, поступающий в пространство между двумя леминискатообразными роторами, вращающимися в противоположные стороны. При скорости вращения роторов несколько тысяч оборотов в минуту можно в зависимости от размеров насоса получать быстроты откачки от десятков до тысяч литров в секунду. Из-за большого зазора между роторами (0,5мм) насосы не могут работать при высоких давлениях. Обратный поток газа, проходящий через зазоры, сильно растет в области вязкостного режима течения газа и снижает эффективность работы насосов. Максимальное рабочее давление двухроторных насосов не превышает 1-10 торр. Таким образом, для их нормальной работы требуется

форвакуумный насос.

К объемным вакуумным насосам относятся также часто применяемые в пищевой и химической промышленности многопластинчатые вращательные насосы, поршневые и водокольцевые насосы. Многопластинчатые насосы со скользящими лопастями выпускаются в одноступенчатом (типа РВН) и двухступенчатом исполнении (типа ДРВН). Предельное давление таких насосов в одноступенчатом варианте составляет 15 торр, а в двухступенчатом 4 торр. Быстрота откачки находится в пределах от 5 до 1000 л/с.

Водокольцевые насосы типа ВВН для откачки влажного воздуха, кислорода, агрессивных сред выпускаются для работы в диапазоне давлений от 760 до 100 торр с предельным давлением от 15 до 110 торр. Быстрота откачки таких насосов составляет 10 - 800 л/с.

Поршневые вакуумные насосы, выпускаемые промышленностью, бывают трех типов: с клапанным распределением и выравниванием давлений типа ВНК, с принудительным распределением одноступенчатые типа ВНП и двухступенчатые типа ДВНП. Насосы типа ВНК имеют большую быстроту откачки (от 10 до 4000 л/с) при достаточно низком предельном давлении 38 торр. Предельное давление насоса ВНП равно 8 торр, а ДВНП - 0,3 торр при быстротах откачки от 10 до 400 л/с.

Насосы, относящиеся ко второй группе, - эжекторные - работают на принципе вязкостного увлечения газа струей жидкости или пара. Водоструйные насосы используются, для откачки воздуха от атмосферного давления до давления 15-20 торр.. В качестве примера таких насосов можно назвать насос типа ВВН-01. Этот насос имеет быстроту откачки в рабочем диапазоне давлений около 1 л/с, предельное остаточное давление 15 торр, применяется в качестве форвакуумного

насоса при безмасляной откачке. Пароводяные насосы типа ЭП и ЭЭ имеют от двух до пяти последовательно включенных ступеней откачки и находят применение в нефтехимической и металлургической промышленности. При давлении рабочего пара 1МН/м² и его расхода от 100 до 4000 кг/ч быстрота откачки насосов лежит в пределах от 2 до 300 л/с. Расход охлаждающей воды соответственно изменяется от 4 до 150 м³/ч.

Пароводяные насосы типа НЭВ имеют в качестве последней ступени водоструйный насос и обеспечивают быстроту откачки от 5 до 30 л/с при предельном давлении 10 торр. Расход охлаждающей воды составляет 0,35-1,4 м³/ч. Паромасляные эжекторные насосы имеют максимальную быстроту откачки в диапазоне давлений от 10⁻² до 10⁰ торр. Наибольшее выпускное давление составляет несколько торр. Паромасляный эжекторный насос ЭН-50 потребляет мощность 1,5кВт и имеет максимальную быстроту откачки 60 л/с при 5·10⁻¹ торр. Быстрота откачки многоступенчатых паромасляных насосов достигает десятков тысяч литров в секунду.

Парортутные эжекторные насосы имеют повышенное выпускное давление. Например, четырехступенчатый насос ЭН-100Р при быстроте откачки 100 л/с имеет наибольшее выпускное давление 50 торр. Опытные конструкции парозжекторных насосов работают с выхлопом в атмосферу.

Третья группа насосов - диффузионные - получила наиболее широкое распространение для получения высокого и среднего вакуума. Принцип действия насосов основан на диффузии откачиваемого газа в струю пара рабочей жидкости, вместе с которой газ уносится к следующей ступени откачки или форвакуумному насосу. Насосы наиболее эффективны в области высокого вакуума, когда скорость диффузии газа в

струи пара максимальна и не зависит от давления откачиваемого газа.

Диапазон рабочих давлений этих насосов лежит в пределах от 10^{-7} до 10^{-2} торр, быстроты откачки от 6 до 30 000 л/с, наибольшее выпускное давление 0,3 торр. Насосы изготавливаются многоступенчатыми, в качестве последней ступени применяется эжекторный насос.

На основе пароструйных насосов промышленность выпускает вакуумные агрегаты типа ВА. Агрегаты типов ВА-01-1, ВА-05-4, ВА-2-3, ВД-4, ВА-8-4 предназначены для общего применения и содержат эксцентриковый вакуумный затвор и жалюзную ловушку, охлаждаемую жидким азотом. Диаметр условного прохода высоковакуумного насоса, ловушки и затвора одинаковы. Конструкция элементов указанных агрегатов не допускает прогрева с целью обезгаживания, что ограничивает их предельное давление $5 \cdot 10^{-7}$ торр.

Агрегаты специального назначения типов ВА-05-5 и ВА-8-9М содержат прогреваемые до $300-400^{\circ}$ С вакуумный затвор и двухрядную азотную ловушку. Предельное давление этих агрегатов $5 \cdot 10^{-9}$ торр.

Среди паромасляных насосов выделяют группу бустерных насосов, в которых захват газа струей пара происходит как за счет диффузии газа в струю, так и за счет турбулентно-вязкостного увлечения газа. По сравнению с диффузионными насосами у них значительно увеличена мощность подогревателя, несколько изменена конструкция сопл и используются более стойкие рабочие жидкости (например, масло «Г»).

Диапазон рабочих давлений бустерных насосов $10^{-4}-10^{-1}$ торр лежит в области среднего вакуума. Ртуть в качестве рабочей жидкости, несмотря на токсичность и более высокую,

чем у масел, упругость пара при комнатной температуре, применяется для безмасляной откачки масс-спектрометров, ускорителей и приборов с ртутным наполнением - мощных ртутных выпрямителей. Ртуть не разлагается при длительном нагреве и мало чувствительна к прорывам атмосферного воздуха в насос, что позволяет увеличить максимальное выпускное давление и срок службы насосов. В настоящее время разработано большое количество рабочих жидкостей для пароструйных насосов.

Откачивающее действие молекулярных насосов основано на увлечении молекул газа непрерывно движущимися твердыми поверхностями. Широкое распространение получили выпускаемые промышленностью турбомолекулярные насосы типа ТВН-200, ТМН-200, ТМН-500. Конструкция насосов напоминает собой осевой многоступенчатый компрессор с закрепленными на корпусе статорными дисками и вращающимися дисками, укрепленными на роторе. В статорных и роторных дисках выполнены косые прорези зеркально по отношению друг к другу. Зазоры между подвижными и неподвижными дисками составляют примерно 1 мм, частота вращения ротора 18 000 об/мин. Насос ТМН-200 отличается от ТВН-200 встроенным приводом, расположенным в форвакуумной камере. Предельное остаточное давление, достигаемое этими насосами, составляет $5 \cdot 10^{-9}$ торр. Диапазон рабочих давлений $10^{-8}-10^{-2}$ торр. Быстрота откачки у ТВН-200-200 л/с, у ТМН-200-250 л/с. На базе насоса ТВН-200 промышленностью выпускается высоковакуумный агрегат типа ТВА-200.

Преимуществом молекулярных насосов является отсутствие загрязнений в спектре остаточных газов, что позволяет использовать их без ловушек. Следует, однако, отметить, что это преимущество проявляется лишь в

прогреваемых вакуумных системах, так как во время остановки насоса масло проникает в откачиваемый объект. К недостаткам таких насосов следует отнести сложность ремонта и обезгаживания корпуса насоса.

Ионно-сорбционные и криогенные насосы принципиально отличаются от рассмотренных типов механических насосов тем, что откачиваемый ими газ не удаляется в атмосферу или в форвакуумный насос, а связывается физически или химически непосредственно в объеме самого насоса. Ионно-сорбционные насосы связывают газ двумя способами: ионной и сорбционной откачками. Ионная откачка осуществляется внедрением ускоренных ионов в электроды насоса. Сорбционная откачка происходит на активных поверхностях, обновляемых путем конденсации на них термически испаряемого сорбционно-активного материала. В ионно-геттерных насосах типа ГИН с независимым распылением титана ток термокатода используется для электронной бомбардировки распылителя и ионизации газа внутри насоса. Ионизированный газ хорошо сортируется тремя способами: химическим взаимодействием с активным металлом, напыленным на стенки, ионной откачкой путем внедрения положительных ионов в материал стенок корпуса на глубину, пропорциональную энергии ионов, и физической адсорбцией путем «замуровывания» адсорбированных газов свеженапыленными пленками активного металла.

Ионно-сорбционными насосами с саморегулирующимся распылением активного металла являются магниторазрядные насосы типов НЭМ, НМДО (НОРД) и ТРИОН. Откачиваемые газы в таких насосах ионизируются первичными электронами, появляющимися за счет автоэлектронной эмиссии из катода. Средняя длина пути электронов в пространстве ионизации увеличена за счет воздействия на них перекрещивающихся

электрического и магнитного полей. Положительные ионы ионизированного газа, слабо отклоняющиеся магнитным полем, бомбардируют катод, изготовленный из сорбционно-активного материала - титана. Пленка титана, распыляющаяся с катода, осаждается на аноде. Активные газы химически взаимодействуют с распыляемыми атомами материала катода и осаждаются на анод в виде химических соединений или непосредственно взаимодействуют со свеженапыленной пленкой на аноде. Инертные газы откачиваются внедрением в материал катода за счет ионной откачки. Насосы типа НМДО (НОРД) отличаются от насосов типа НЭМ тем, что имеют охлаждаемые водой электроды, способные устойчиво откачивать газы в более широком диапазоне давлений, и имеют повышенное давление запуска.

К криогенным насосам относятся адсорбционные и конденсационные насосы. Принцип действия основан на температурной обратимости явлений физической адсорбции. В качестве адсорбентов используются цеолиты, активированные угли, силикагели и др. Хладагентом в адсорбционных насосах является жидкий азот. Адсорбционные насосы могут работать от атмосферного давления. Предельно достигаемое остаточное давление адсорбционных насосов с неподвижным адсорбентом при откачке атмосферного воздуха составляет 10^{-3} торр. Оно ограничивается давлением плохо сорбирующихся газов, таких как H_2 , He, входящих в состав воздуха.

Высоковакуумные агрегаты типа ЭРА состоят из насосов типа НЭМ и ЦВН. Конденсационные насосы охлаждаются до температур жидкого гелия или водорода.

По основным составляющим воздуха N_2 , O_2 , часто присутствующий в вакуумных системах СО быстроты откачки и другие характеристики насосов соответствуют паспортным данным. По другим компонентам остаточных газов в насосах

различных типов возможны дискриминации по скорости откачки.

Водород хорошо откачивается пароструйными насосами с ловушками и без ловушек. Катализ в сорбционных ловушках, разложение паров масла в термосорбционных и электронных ловушках приводят к обогащению спектра остаточных газов паромасляных насосов водородом. Турбомолекулярный насос откачивает водород с наименьшим коэффициентом компрессии по сравнению с остальными газами. Магниторазрядные насосы быстро насыщаются при откачке водорода, но в начальный момент скорость их откачки по водороду в три раза выше, чем по воздуху. Адсорбционные насосы, охлаждаемые до температуры жидкого азота, плохо откачивают водород. Конденсационные насосы, охлаждаемые до температуры жидкого водорода или гелия, также плохо откачивают водород. Гелий и неон хорошо откачиваются пароструйными и турбомолекулярными насосами, но со значительно меньшим коэффициентом компрессии по сравнению с воздухом. Адсорбционный и конденсационные насосы практически не откачивают гелий и неон. Во время работы магниторазрядных насосов наблюдается быстрое уменьшение скорости откачки указанных газов, а начальное значение скорости откачки не превышает 10-20% от скорости откачки по воздуху. Углеводороды всегда присутствуют в спектре остаточных газов пароструйных и турбомолекулярных насосов, особенно в непрогретых вакуумных системах. Магниторазрядные насосы плохо откачивают пары масла и углеводороды, а пленки продуктов крекинга, покрывающие электроды, затрудняют откачку других газов. На чистых поверхностях титана при наличии углерода и водорода синтезируются метан и другие легкие углеводороды. Прекрасно откачивают углеводороды все виды криогенных насосов. Тяжелые

углеводороды откачиваются адсорбционными насосами и ловушками даже при комнатной температуре. Пары воды и CO₂ хорошо откачиваются всеми видами насосов, особенно адсорбционными и конденсационными. Присутствие этих газов в больших количествах нежелательно в системах с адсорбционными ловушками. Хорошо адсорбируясь при комнатных температурах, после достижения равновесия они могут вновь выделяться в вакуумную систему, создавая постоянный фон в спектре остаточных газов.

2.4. Силоизмерительные устройства с упругими динамометрами

Силоизмерительное устройство содержит силовоспринимающую и измерительную части [4]. Силовоспринимающая часть содержит элементы для восприятия реакций механической системы и передачи измеряемой силы на динамометр - основной элемент измерительной части, который содержит датчик силы, преобразующие, измерительные и регистрирующие устройства. В месте установки датчика возникает сила, противодействующая измеряемой - сила реакции датчика. По способу создания реакции можно выделить датчики трех типов:

1) с электрически неактивным упругим элементом, у которого реакция создается в результате деформации упругого электрически неактивного элемента - датчик отдельного преобразования;

2) с электрически активным упругим элементом, у которого реакция создается деформацией упругого электрически активного, т. е. одновременно чувствительного элемента, - датчик совмещенного преобразования;

3) с силовым уравниванием, у которого реакция создается силовозбуждающим устройством - механическим или электромеханическим.

К датчикам первого типа относят наиболее распространенные в настоящее время датчики силы. Упругий элемент этих датчиков выполняет чисто механические функции - создает реакцию измеряемой силе. Возникающая деформация упругого элемента воспринимается чувствительным элементом и преобразуется в выходную величину, т. е. процессы деформирования и преобразования происходят в различных элементах датчика.

К датчикам этого типа относят, например, датчики с механическими, тензорезисторными, индуктивными или емкостными преобразователями деформации в электрический сигнал.

В датчиках второго типа механическая нагрузка действует на электрически или магнитно активный упругий элемент, который реагирует на созданное нагрузкой поле механических напряжений или деформаций изменением своих электрических или магнитных характеристик. К датчикам этого типа относят, например, угольные, пьезоэлектрические и магнитоанізотропные датчики.

К датчикам третьего типа относят датчики с электродинамическим уравнивающим силовозбуждающим устройством. В датчиках этого типа электрическое питание силовозбудителя цепью управления увеличивается настолько, что деформация упругого элемента в первом приближении устраняется, т. е. измеряемая сила уравнивается силой возбудителя, а электрическое питание силовозбудителя является мерой измеряемой силы. Датчики этого типа нашли применение преимущественно при измерении малых и весьма малых сил.

Используемые в датчиках первого типа преобразователи можно разделить на параметрические и генераторные. В параметрических преобразователях энергия, отдаваемая в измерительную цепь в виде выходной величины, обеспечивается вспомогательным источником питания, а не отбирается у измеряемого объекта - источника силы. В генераторных преобразователях энергия, необходимая для создания выходной величины, отбирается у измеряемого объекта. У генераторных датчиков постоянная электрическая мощность может отбираться только тогда, когда источник силы обеспечивает необходимое непрерывное питание. Такое состояние возможно лишь в том случае, когда существуют временные изменения измеряемой силы.

Таким образом, параметрические преобразователи применяют в датчиках для измерения статических и динамических сил, а генераторные - преимущественно в датчиках для динамических измерений. Конструкция датчика силы в большой мере определяется примененным преобразователем. Для достижения оптимальных метрологических характеристик датчика необходимо соблюдать следующие принципы: цельности конструкции, интегрирования, симметрии и оптимальных конструктивных границ.

В табл. 2.12 приведены основные типы датчиков силы и их основные достижимые параметры. На структурных схемах в таблице обозначено: 1 - упругий элемент датчика; 2 - преобразователь деформации упругого элемента в электрический сигнал; 3 - упругий и чувствительный элемент датчика; 4 - силовозбудитель.

Датчики силы с индуктивными преобразователями. Преобразователи, преобразующие естественную входную величину в виде перемещения в изменение индуктивности или

взаимной индуктивности, называют индуктивными. Такой преобразователь состоит из одной или нескольких обмоток, расположенных на магнитопроводе. Изменение индуктивности или взаимной индуктивности происходит в связи с изменением длины воздушного зазора между элементами магнитопровода либо площади воздушного зазора. Рабочее перемещение элементов магнитопровода в преобразователях с изменяемой длиной зазора составляет 0,01- 10 мм, а в преобразователях с изменяемой площадью зазора 5-20 мм.

В табл. 2.8 приведены данные некоторых отечественных датчиков силы с индуктивными преобразователями.

Таблица 2.8

Отечественные датчики силы с индуктивными преобразователями

| Тип датчика | Диапазон измеряемых сил, кН | Класс | Осадка, мм | Диапазон рабочих температур, | Назначение |
|-------------|-----------------------------|-------|------------|------------------------------|------------|
| ДИ-250 | 0,25-2,5 | 1;2 | 0,5-2 | От -30 до 50 | Для дорож |
| ДИ-500 | 0,5-5 | | 0,5-1 | | |
| ДИ-1000 | 1,0-10 | | 0,5-2 | | |
| ДИ-2000 | 2,0-20 | | | | |
| ДИ-5000 | 5,0-50 | | | | |
| ДИ-10000 | 10,0-100 | | | | Для весов |
| ДИ-В | 2-20 | 0,5 | 0,5 | От -50 до 50 | |
| ДИ | 0,01-10 | | | | |

Датчики силы с емкостными преобразователями. Емкостной преобразователь представляет собой простой или дифференциальный конденсатор, емкость C которого изменяется путем изменения расстояния b между его обкладками, либо путем изменения площади S обкладок, либо путем изменения диэлектрической постоянной ϵ материала,

помещенного между обкладками. В датчиках силы емкостные преобразователи реагируют на деформацию упругого элемента, преобразовывая ее в изменение емкости.

Датчики силы с виброчастотными преобразователями. У этих датчиков измерительный ход действует на механический резонатор и изменяет частоту его собственных колебаний.

В качестве резонатора может быть использован механический элемент любой формы, способный совершать колебания. Наибольшее распространение получили струнные и стержневые резонаторы.

На рис. 2.6 изображен датчик силы со стержневым резонатором. При приложении к упругому элементу измеряемой силы P резонатор 2 испытывает растягивающие (при измерении сжимающих кольцо сил) силы или сжимающие (при измерении растягивающих кольцо сил) силы. Частота поперечных колебаний в первом случае увеличивается, а во втором уменьшается по отношению к частоте колебаний резонатора ненагруженного датчика.

Резонатор 7 служит для температурной компенсации показаний датчика. Изменение частоты колебаний резонатора 7 происходит только в результате изменения температуры датчика силы, которая вызывает изменение модуля упругости материала упругого элемента.

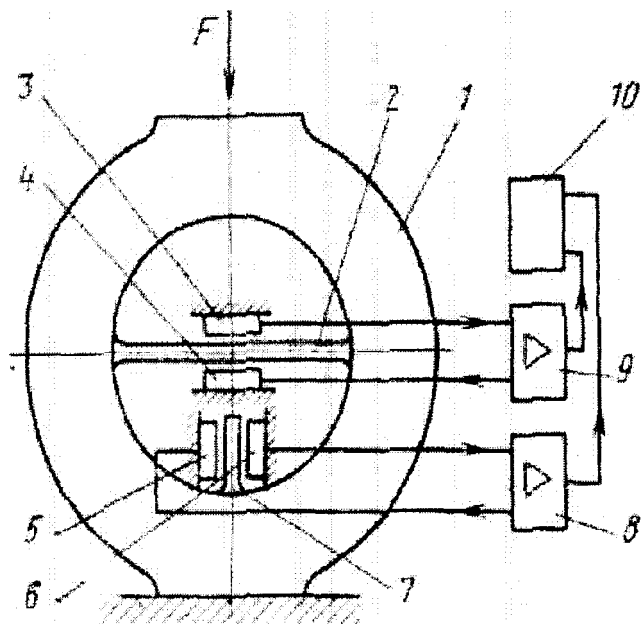


Рис. 2.6. Датчик силы со стержневым преобразователем

Датчики силы с тензорезисторными преобразователями. В основе работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводников или полупроводников при их механической деформации. У прямоугольных структур (рис. 4.2, а) выводы приваривают в точке 1, у квадратных (рис. 4.2, б) - в углах квадратов. Квадратные структуры получают с максимальным использованием площади заготовки. Размеры квадратных структур - 6, 5, 4, 3, 2 и 1 мм. Толщина заготовок для структур обоих типов 20-25 мкм.

Применение таких структур (модулей), помимо значительного упрощения монтажа и сокращения числа контактов на полупроводнике (что повышает стабильность во времени), снижает погрешность от упругих несовершенств

материала упругого элемента датчика силы. Использование этих модулей дает примерно такой же эффект миниатюризации, как применение планарных интегральных тензомостов.

В серийных зарубежных и отечественных датчиках силы используют мостовую схему включения тензорезисторов (рис. 4.3), питаемую напряжением U_n . Преимущество мостовой схемы заключается в том, что с ее помощью измеряют только изменение сопротивления тензорезисторов R_1 ; R_2 ; R_3 и R_4 , а не общее их сопротивление. Балансировкой моста при отсутствии нагрузки па упругом элементе датчика силы можно исключить постоянную составляющую выходного сигнала. Можно сбалансировать мост тензорезисторов не при нулевой, а при какой-либо заданной нагрузке на упругий элемент датчика силы, что дает возможность измерять относительную силу. Для начальной балансировки моста в оба смежных плеча последовательно с тензорезисторами включают дополнительные регулировочные резисторы R_b . Мостовая схема позволяет простыми средствами обеспечить температурную компенсацию и снизить чувствительность датчика силы к не измеряемым компонентам силы. Для компенсации температурного изменения тензочувствительности тензорезисторов, приводящего к изменению чувствительности датчика силы, в цепь диагонали питания моста последовательно включают термочувствительные сопротивления R_{t2} , которые так регулируют напряжение питания моста, чтобы скомпенсировать изменение его чувствительности с изменением температуры. Установка термочувствительных резисторов R_{t1} и R_{t2} позволяет снизить температурную погрешность нуля R_{t1} и температурную погрешность чувствительности R_{t2} до 0,1-0,5% на 10 °С для проволочных и

фольговых тензорезисторных датчиков силы. Данные об отечественных тензорезисторных датчиках силы приведены в табл. 2.11.

Продолжение табл. 2.9

Таблица 2.9

Основные типы и параметры датчиков

| Структурная схема | Датчик | Интегрирование | | Диапазон измеряемых сил, кН | Деформация упругого элемента, мм | Верхний предел рабочей частоты без присоединенной массы*, Гц | Достижимый температурный дрейф нуля, %/градус | Нелинейность, % | Достижимый класс точности в диапазоне от -10 до 40 °С |
|---|--|-----------------|------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|---|-----------------|---|
| | | миним. действие | максим. действие | | | | | | |
| Параметрический с разделным преобразованием | | | | | | | | | |
| | Индуктивный | | | | | 500 | 0,02-0,05 | | 0,1-1 |
| | Емкостный | + | | 10^5-10^4 | 0,05-0,5 | 200 | 0,01-0,05 | 0,1-1 | 0,25-1 |
| | Вибродатчик | | | $0,1-5 \times 10^3$ | 0,1-0,25 | 1000 | 0,005-0,02 | 0,03-0,1 | 0,01-0,025 |
| | Тензометрический. Металлические тензорезисторы | | | $10^3-5 \times 10^4$ | 0,05-0,3 | 5000 | 0,005-0,2 | 0,1-2 | 0,25-0,6 |
| | Тензометрический. Полупроводниковые тензорезисторы | | | | 0,02-0,1 | 10000 | 0,01-0,04 | 0,2-2 | 0,4-1 |
| | Тензометрический. Металлические тензорезисторы | + | | 10^5-10^4 | 0,05-0,5 | 5000 | 0,001-0,005 | 0,01-0,1 | 0,01-0,06 |
| | Тензометрический. Полупроводниковые тензорезисторы | | | | 0,02-0,2 | 10000 | 0,005-0,04 | 0,1-0,3 | 0,1-0,25 |
| Параметрический с совмещенным преобразованием | | | | | | | | | |
| | Резистивный с угольным столбиком | + | + | 10^3-10^4 | 0,05-0,2 | 10000 | 0,1-0,5 | 2-30 | >10 |

| Структурная схема | Датчик | Интегрирование | | Диапазон измеряемых сил, кН | Деформация упругого элемента, мм | Верхний предел рабочей частоты без присоединенной массы*, Гц | Достижимый температурный дрейф нуля, %/градус | Нелинейность, % | Достижимый класс точности в диапазоне от -10 до 40 °С |
|--|---|-----------------|------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|---|-----------------|---|
| | | миним. действие | максим. действие | | | | | | |
| | Магнитоупругий. Изменение проницаемости | + | | $1-5 \times 10^3$ | 0,02-0,2 | | 0,02-0,05 | 1-5 | 1-2,5 |
| | Магнитоупругий. Анизотропные | + | | $0,5-5 \times 10^3$ | 0,02-0,3 | >1000 | 0,01-0,05 | 0,1-2 | 0,4-2,5 |
| | Магнитоупругий. Анизотропные | + | | | 0,03-0,5 | 1000 | 0,003-0,01 | 0,05-0,5 | 0,1-0,6 |
| Генераторный с совмещенным преобразованием | | | | | | | | | |
| | Пьезометрический** | + | | $1-5 \times 10^3$ | | | 0,02 | 0,01-1 | <1 |
| | Магнитоупругий | + | | $1-10^3$ | 0,005-0,05 | 100000 | | 0,02-0,05 | 1-5 |
| Компенсационный | | | | | | | | | |
| | Силовое уравновешивание | + | | 10^3-10^2 | 0,1-1 | 100 | 0,001 | 0,01 | 0,025-0,06 |

* Верхний предел рабочей частоты датчиков всех типов с максимально допустимой для них присоединенной массой не превышает 20-50 Гц.
 ** Нижний предел рабочей частоты пьезометрических датчиков генераторного типа с совмещенным преобразованием 10^3 Гц, магнитоупругих 1-10 Гц.

Для статических измерений силы тензорезисторными датчиками отечественная промышленность выпускает различную аппаратуру, данные по которой приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Тензорезисторные датчики силы

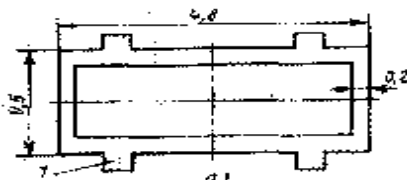


Рис. 2.7. Датчик силы с наклеиваемыми мостовыми полупроводниковыми структурами

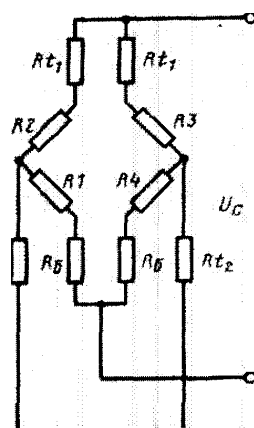


Рис. 2.8. Мостовая схема включения тензорезисторов

| Тип (модель) | Число типоразмеров | Номинальная нагрузка, кН | Основная погрешность, % | Не линейность, % | Гистерезис, % | Невоспроизводимость, % | Температурные изменения | Диапазон температур, °С | Перегрузка | Осадка при номинальной нагрузке | Вид нагрузки |
|--------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|---------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|---------------------------------|--------------|
| СЗ и РЗ | 16 | 0,01-500 | 0,04 | | | | | От -30 до 40 | 1, 25 | | С |
| ЭВ | 3 | 750, 1250 | 0,2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Джк | 1 | 600 | 0,8 | - | - | - | - | 10-35 | | | С |
| ДЭМ-1 | 1 | 50 | 0,4 | - | - | - | - | 10-35 | - | - | |
| ДЭВ | 1 | 2000 | 0,8 | - | - | - | - | 10-35, | | - | С |
| Вкэ | 4 | 50, 100 | 0,2 | - | - | - | - | От -20 до | - | - | С, Р |
| ЭКВ-60 | 1 | 600 | 0,4 | - | - | - | - | 10-40 | | - | С |
| Свюоо | 1 | 10 | 0,25 | - | - | - | - | От -40 до 50 | - | - | С |
| СВ5000 | 1 | 50 | 0,25 | - | - | - | - | » -40 » 50 | | - | С |
| Эдд-30 | 1 | 300 | 0,4 | - | - | - | - | » -40 » 50 | 2 | - | С |
| Эдд-250 | 1 | 2500 | 0,4 | - | - | - | - | » -50 » 50 | 2 | | С |

Продолжение табл. 2.10

| | | | | | | | | | | | |
|---------|---|---------|---------|------|-----|------|------|---------------|------|-----|-----|
| ЭДД-400 | 1 | 4000 | 0,4 | - | | | | » -40 » 50 | | | С |
| ДМУ | 1 | 100 | 0,2 | - | - | | | 0-35 | 1,5 | | С |
| ДТП | 5 | 60-1000 | 0,3 | | | | | | | | |
| ДЭ4 | 1 | 2000 | 0,8 | - | - | | | 10-50 | - | | - |
| У | 2 | 1,2 | 0,1-0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,08 | 0,12 | От -40 до | 1,25 | 0,4 | р/с |
| У | 2 | 5,10 | 0,1-0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,08 | 0,12 | »-400 » 50 | 1,25 | 0,5 | р/с |

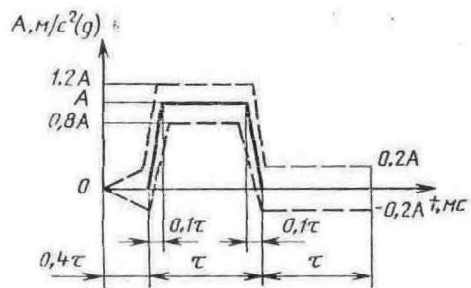


Рис 2.9. Трапецеидальный импульс ударного воздействия

Таблица 2.11

Отечественная аппаратура для статических измерений силы тензорезисторными датчиками

| Прибор | Тип | Основная погрешность, % | | Время измер |
|--|-----------|-------------------------|-----|-------------|
| | | | | |
| Ручной компенсатор | ИСД-3 | 0,1 | - | |
| То же | ЭИД-6 | 0,1 | - | |
| Автоматический | ЭИД-8 | 0,1 | - | |
| Автоматический | АПТ-100 | 0,5 | - | 4 |
| Автоматический | ПДС-021 | 0,5 | - | 1 |
| Компенсатор, самописец | | | | |
| Автоматический | КСТ-4 | 0,25 | - | 1;2;5; |
| Компенсатор, самописец | | | | |
| Сило измеритель | ИСН-1 | 0,5 | 0,5 | 0,35 |
| Испытательной машины, | | | | |
| Самописец | | | | |
| То же. | ИСН-3 | | 1,0 | 0,5 |
| Силой измеритель | ИСДН | 0,2 | 1,0 | 0- |
| ручной компенсацией | | | | |
| Силой измеритель к испытательной машине указывающий, | ПДН | - | 1;3 | 20-1000 |
| Динамометр, ручная компенсация | ЭДД | - | 0,5 | - |
| Тензовесы с компенсацией. | ЭВН-60 | 0,5 | - | 1,5 |
| То же | ПВ-10 ВКЭ | 0,25 | - | 1,5 |
| » | ДЭМПДД-1 | 0,5 | - | 1,5 |
| » | ЭВН-50Б | 1,0 0,5 | - | 1,5 |
| » | ЭКВ-60 | - | - | 1,5 |
| | | | | 1,5 |
| Тензовесы с ручной компенсацией | ЭВ-125А | - | 0,4 | |

Датчики силы с магнитоупругими преобразователями можно разделить на две основные группы: с изменением магнитных характеристик упруго чувствительного элемента, с изменением степени магнитной анизотропии материала упруго чувствительного элемента (см. табл.2.12).

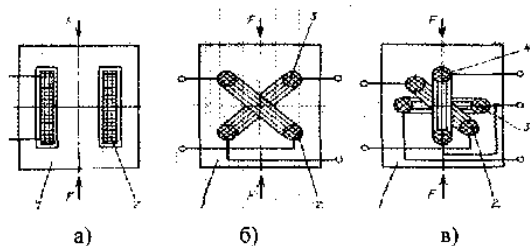


Рис. 2.10. Датчики силы с магнитоупругими преобразователями

Принцип действия датчиков первой группы (рис. 2.10, а) основан на том, что при приложении усилия к упругочувствительному элементу 1, который является одновременно магнитопроводом датчика, в нем изменяются магнитная проницаемость и величина магнитного потока, создаваемого обмоткой 2, питаемой переменным током; в результате изменяется ЭДС самоиндукции или взаимной индукции. На магнитопровод могут быть намотаны одна или несколько обмоток. В первом случае имеем магнитоупругий преобразователь дроссельного типа, во втором - трансформаторного. Принцип действия датчиков второй группы (рис. 2.10, б) основан на том, что под влиянием внешних механических напряжений магнитные свойства материала упруго чувствительного элемента 1 из-за анизотропии магнитных свойств кристаллов железа претерпевают изменения во всех направлениях с различной интенсивностью и с различными знаками в зависимости от

величины внешнего магнитного поля. Суммарный вектор магнитного потока, сцепленного с катушкой 2 возбуждения, направлен внутри магнитопровода 1 под углом 45° к векторам главных механических напряжений. Магнитная ось измерительной катушки 3 расположена перпендикулярно к оси катушки возбуждения, благодаря чему при отсутствии измеряемой силы P потокосцепление между катушками, а следовательно, и коэффициент взаимной индукции равны нулю. При действии силы P магнитное поле внутри магнитопровода (упруго чувствительного элемента) становится асимметричным, поэтому появляется составляющая магнитного потока, сцепленная с измерительной катушкой, в которой наводится ЭДС, являющаяся функцией измеряемого усилия.

Таблица 2.12

Отечественные датчики силы с магнитоупругими преобразователями

| Тип | Номинальная измеряемая сила, кН | Основная Погрешность, % | Температурная погрешность, % на 10°C | Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$ | Перегрузка (кратность) |
|------------|---------------------------------|-------------------------|--|---|------------------------|
| МКН | 50; 60; 160 | 2,5 | - | От -25 до 50 | - |
| ДНР | 20; 30; 45 | 1,5 | 1 | От -30 до 50 | 2 |
| ДНС | 10; 16; 24; | 1,5 | 1 | От -30 до 50 | 2 |
| ДМУ | 30 | 1,5 | 1,2-1,6 | - | 1,6 |
| » | 15 | 5 | 5 | От -30 до 50 | - |
| Поршн | 0,05 | 1,5 | 0,5 | - | 1,5 |
| Глубин | 40 | 1 | 0,3 | От -20 до 50 | - |
| » | 36; 50 | 2-3 | 0,5 | От -40 до 60 | - |
| Для станов | 3000; 8000; | | 0,5 | - | 1,5 |
| Много | 15000; | 2-3 | - | От -30 до 70 | 1,5 |
| | 20000 | | - | - | 1,5 |
| | 2,5 | 0,5 | 0,5 | - | 1,5 |

Тензометры. При измерении напряженно-деформированных состояний деталей и агрегатов при их эксплуатации используют ряд методов тензометрии, в основу которых положены различные физические принципы измерений. Существуют рентгеновские методы, методы фотоупругости, муаровых полос, хрупких покрытий, гальванических покрытий и методы с использованием тензометрических преобразователей. Сущность рентгеновского метода измерения основана на явлении интерференции рентгеновских лучей, проходящих через кристаллическую решетку исследуемого материала. В основу метода хрупких покрытий положен эффект образования трещин под действием приложенных нагрузок. Покрытия предварительно наносят на объект исследования, и после высыхания в этом покрытии образуются остаточные напряжения, которые и способствуют, даже при незначительных деформациях, образованию трещин. Метод хрупких покрытий применяют для предварительного определения зоны наибольших напряжений. Ввиду того, что погрешность определения деформаций и напряжений методом хрупких покрытий достигает 10-20 %, этот метод используют только для оценочных измерений, более точные результаты получают применением других средств точного тензометрирования.

Метод гальванических покрытий основан на образовании темных пятен на медном гальваническом покрытии, нанесенном на исследуемый объект. Этот метод используют в основном при циклическом нагружении объекта. При известном числе циклов нагружения, модуле упругости материала объекта и химическом составе гальванического покрытия определяют минимальное значение напряжения, при котором появляются темные пятна на гальваническом покрытии. Другими словами, значения числа циклов

нагружения и величина напряжения, соответствующие этим циклам нагружения, являются взаимосвязанными величинами. Метод фотоупругости основан на использовании явления двойного лучепреломления у прозрачных материалов под действием механических напряжений. При этом величина двойного лучепреломления пропорциональна значениям деформации объекта, которая определяется порядком интерференционных полос при просвечивании материала поляризованным светом. К преимуществам метода фотоупругости следует отнести возможность измерения напряженного состояния всей поверхности объекта при визуальном контроле, высокую точность измерения. Однако указанный метод имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что измерения проводят на моделях и это представляет определенные трудности при испытаниях объемных моделей.

В основе метода муаровых полос лежит муаровый эффект, суть которого заключается в появлении чередующихся темных и светлых полос при наложении одной на другую двух или более растровых сеток. Шаг муаровых полос определяется параметрами исходных растворов и условиями их освещения. Один из растров наносят на испытуемый объект и деформируют вместе с ним.

Муаровая картина несет информацию о характере деформирования раstra и деформированного состояния образца. При незначительных относительных деформациях, линейных и угловых перемещениях сеток наблюдаются большие изменения шага, направления и положения возникающих муаровых полос. Метод муаровых полос применим как для натуральных объектов, так и для моделей объектов. Муаровые полосы наносят либо посредством фотопленок со съемным эмульсионным слоем или

фотохимическим способом путем травления. К преимуществам метода следует отнести возможность измерения деформаций больших поверхностей и при высоких температурах. Схема установки, называемой муаровой скамьей, для измерения методом муаровых полос перемещений и деформаций на поверхности деталей или элементов конструкции, испытываемых при статическом, циклическом или динамическом нагружении в условиях нормальных, повышенных температур или при воздействии среды, приведена на рис. 2.11. При использовании такой схемы

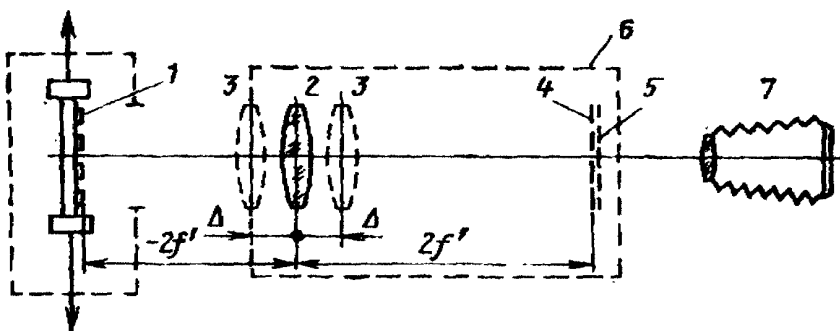


Рис. 2.11. Схема муаровой скамьи

осуществляют дистанционные наложение контрольного и рабочего растров 7, так как изображение рабочего растра, нанесенного на испытываемую деталь, смонтированную в захватах испытательной машины, проецируется объективами 2 и 3 в фокальную плоскость специальной фотокамеры 6, где устанавливается также контрольный растр 5. При совмещении изображений рабочего 4 и контрольного растров возникает картина муаровых полос, которую регистрируют фотокамерой 7. Применение такой оптической системы позволяет осуществлять измерение полей деформаций без остановки испытаний, причем испытываемый образец или элемент

конструкции может быть размещен в нагревательной или климатической камере, имеющей соответствующее окно для наблюдения за исследуемой поверхностью и смонтированной на испытательной машине. С использованием специальных приспособлений, устанавливаемых на объективе скамьи и позволяющих осуществлять тонкие фиксированные перемещения объектива, оказывается возможным эффективно увеличить объем получаемой информации о перемещениях на исследуемой поверхности. При измерении полей деформаций с помощью метода оптически активных (фотоупругих) покрытий приборы, используемые для измерения разности хода лучей в покрытии (т.е. - для измерения разности главных деформаций и для определения направлений главных осей), называют полярископами одностороннего действия.

Для измерения полей малых перемещений точек поверхности материалов элементов конструкций эффективно применяют метод голографической интерферометрии, основанный на использовании когерентных источников света.

Для исследования стационарных объектов и медленно протекающих процессов в основном применяют голографические установки типов УИГ-2М, УИГ-2А и интерферометрический стол для регистрации быстропротекающих процессов - установку типа УИГ-1М.

Установки указанных типов со сложными системами антивибрационной изоляции позволяют вести исследования объектов как в проходящем, так и в отраженном свете, они оснащены оптическими компонентами, необходимыми для проведения голографических исследований. Вместе с тем недостаточная помехо-устойчивость этих установок, громоздкость, значительная стоимость существенно осложняют, а в ряде случаев и исключают их применение в комплекте с испытательными машинами при механических

испытаниях материалов и конструкций. Для устранения влияния вибрации и связанной с ней необходимости использования массивных виброизолированных столов применяют специализированные методы голографирования с лазерами непрерывного излучения или импульсными. Применение голографии с импульсным лазером с весьма малой длительностью импульса (20-30 нс) позволяет устранить влияние вибрации как при голографии с помощью одиночного импульса так и при работе по схеме с двумя экспозициями. Так, при одиночном импульсе длительностью около 30 нс допустимая скорость движения объекта не должна превышать 2,9 м/с, а интервал между парными импульсами, не превышающий 50 мкс, обеспечивает устранение влияния вибраций при частотах до 2000 Гц.

В случаях, когда по каким-либо причинам целесообразно использовать не импульсные системы, а установки с лазером непрерывного излучения, применяют различные методы компенсации вибраций, которые условно можно подразделить на три основных класса: методы с использованием локального опорного пучка, формируемого излучением, рассеиваемым объектом; методы использования сервосистем с обратной связью и методы, снижающие время экспозиции. Система для автоматического контроля деформаций на основе использования голографического интерферометра с оптоэлектронным преобразователем предназначена для управления процессом диффузионной сварки с одновременным дефектоскопическим контролем, а также может быть использована для механических испытаний с заданными скоростями и величинами деформаций при нагружениях образцов в термо-, криокамерах или вакуумных камерах. Принципиальная схема устройства представлена на рис. 2.12. Излучение лазера 1 разделяется светоделителем 2 и

зеркалом 13 на два потока, которые расширяются и коллимируются системами 3. Более яркий поток, проходя через пластинку 4,

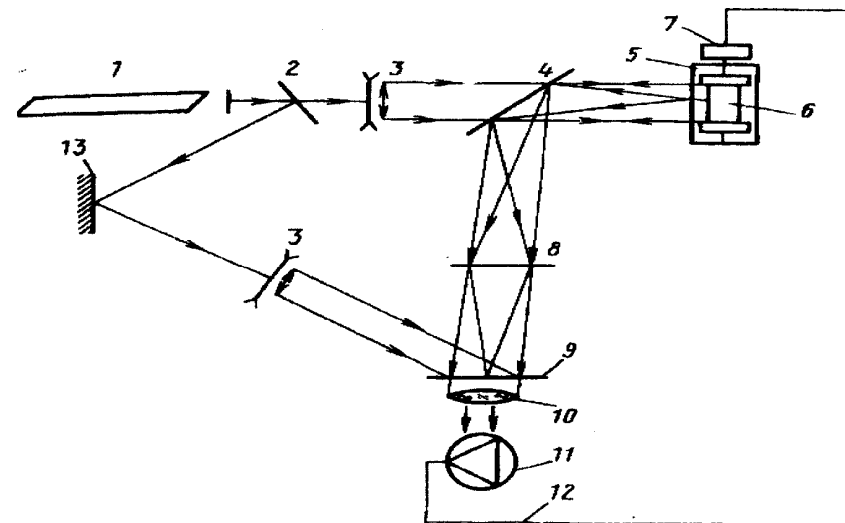


Рис. 2.12. Схема установки для автоматического контроля деформаций на основе интерферометра

попадает в камеру 5. Отражаясь от поверхности образца 6, пучок выходит из камеры по тому же оптическому пути и через объектив 8 попадает на фотопластинку 9, где записывается голограмма. Попадающий в процессе нагружения на оптоэлектронный преобразователь через линзу 10 световой поток предварительно проходит через голографическую интерферограмму и оказывается модулированным пространственной частотой, локализацией и формой интерференционных полос. В блоке сравнения происходит сопоставление заданной и реализуемой скоростей изменения

фототока, т. е., по существу, заданной и измеряемой скоростей деформирования. При неравенстве скоростей возникает сигнал рассогласования, поступающий через линию обратной связи 12 в блок управления золотником гидравлического нагружающего устройства 7, и осуществляется автоматическая корректировка параметров процесса нагружения.

Для измерения напряжений наибольшее распространение получили тензометры, основанные на использовании тензометрических преобразователей: механические, оптические, пневматические, струнные (акустические) и электрические.

Действие механических тензометров основано на масштабном преобразовании деформаций с помощью механической передачи до величины, удобной для регистрации. Для этой цели используют рычажные и рычажно-зубчатые передачи. На рис. 2.13 приведен рычажный тензометр Гугенбергера, используемый только для измерения статических деформаций.

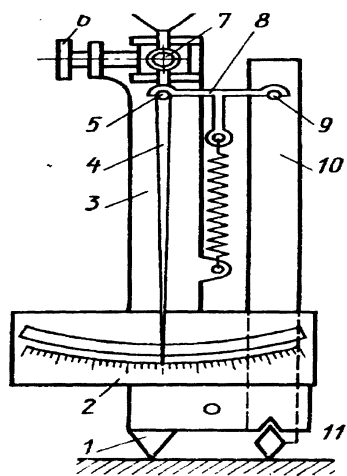


Рис. 2.13. Рычажный тензометр Гугенбергера

Подвижная призма является одним из концов двухплечевого рычага. Тензометр закрепляют на объекте исследований с помощью трубочек, вакуумных присосов или магнитов. Расстояние между призмами составляет базу тензометра. Погрешность тензометра Гугенбергера с базой 20 мм составляет величину около 15 еод.

Механические тензометры обычно используют для предварительной оценки распределения деформаций на объекте. В оптических тензометрах для преобразования деформаций в удобную для регистрации величину используют оптический луч. При этом отсчет можно производить по перемещению светового пятна на шкале. В оптических тензометрах, которые предназначены для измерения больших деформаций, используют фотоэлектрические датчики. При этом деформация преобразуется в электрический импульс. Схема оптического тензометра с фотодиодами приведена на рис. 2.14.

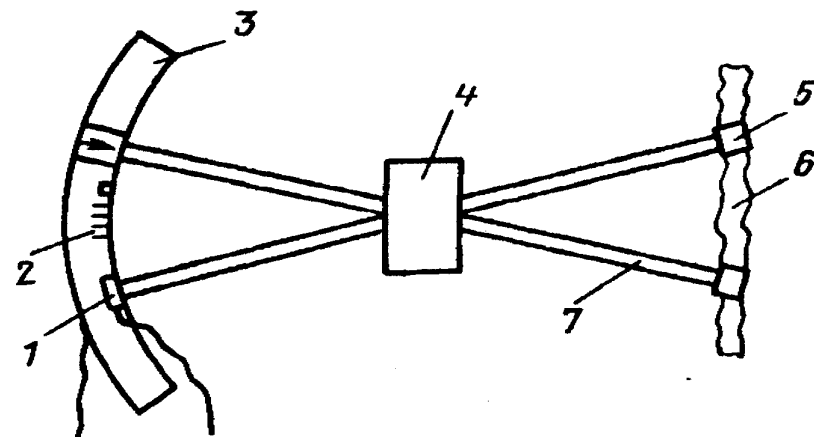


Рис. 2.14. Схема оптического тензометра с фотодиодом

Рычаги 7, ось вращения которых находится в корпусе тензометра 4, закреплены на образце б зажимами 5. На одном из рычагов закреплена считывающая головка 7, в которой размещены источник света и фотодиод, а на другом рычаге - прозрачная шкала 3 со штрихами 2. При деформации объекта считывающая головка перемещается вдоль шкалы, а с фотодиода поступают на вторичную аппаратуру импульсы, число которых пропорционально деформации. Точность измерения зависит от числа делений на шкале и поэтому габариты такого устройства относительно больше, так как надо увеличивать длину рычагов и размеры шкалы.

Действие пневматического тензометра основано на изменении расхода воздуха через измерительное сопло, перепад давления измеряют посредством U-образного водяного манометра. Деформация поверхности исследуемого объекта воспринимается опорными призмами и через рычаг механической передачи изменяет величину сечения сопла. Коэффициент передачи пневматического тензометра достигает 200 000. Линеаризация градуировочной характеристики обеспечивается дифференциальным включением двух измерительных сопл, установленных встречно и разделенных диафрагмой. К недостаткам данных тензометров относят повышенные требования к чистоте воздушных потоков, их применяют в основном для лабораторных измерений.

В струнных (акустических) тензомерах используется изменение частоты собственных колебаний струны при деформации объекта. Собственная частота колебаний струны зависит от величины механического напряжения в струне. Измеряя частоту колебаний струны, можно судить о деформации объекта. Над струной установлен электромагнит для возбуждения колебаний в струне при прохождении по его обмотке электрических импульсов. Частоту колебаний струны

измеряют посредством сигнала, снимаемого с обмотки электромагнита. Струнный тензомер является частотным прибором и поэтому имеет определенные преимущества с точки зрения помехозащищенности и влияния внешних электрических флуктуаций на показания тензометра. Для измерения изменения частоты, вызванной деформациями объекта, используют частотные дискриминаторы или цифровые счетчики. Погрешность измерения струнных тензометров 1 еод.

Большая точность струнных тензометров и многообразие схем обработки частотно-модулированных сигналов позволяют использовать эти тензомеры для измерения как статических, так и динамических деформаций.

В основу работы электрических тензометров положен принцип измерения изменения параметров электрической цепи, например сопротивления, индуктивности или емкости. Электрические тензомеры делят на тензомеры сопротивления, индуктивные, емкостные, пьезоэлектрические, индукционные.

Действие потенциметрического тензомера сопротивления основано на измерении величины сопротивления между ползунком потенциметра, механически связанным с опорной призмой, образующей базу, и крайним выводом потенциметра.

Потенциметрические тензомеры применяют для измерения деформаций до десятых долей миллиметра. В электролитических тензомерах измеряют изменение сопротивления между выводами двух электродов, находящихся в электролите, под действием деформации. Стабильность таких тензометров невысокая.

Действие механотронных тензометров основано на использовании эффекта изменения внутреннего сопротивления

вакуумной электронной или газонаполненной лампы при изменении под действием деформации расстояния между электродами. Для повышения чувствительности преобразования используют триоды. С целью линеаризации характеристики механотронного тензометра используют диод с двумя подвижными анодами, которые легко включаются в дифференциальную схему. Изменение электрической емкости между двумя пластинами, вызванное перемещением одной из пластин под действием деформации, положено в основу емкостных тензометров. Однако емкостным тензомерам присущи недостатки емкостных датчиков, такие как влияние пыли, влаги, температуры окружающей среды, и поэтому эти тензомеры не получили должного распространения.

В индуктивных тензомерах используется изменение реактивного сопротивления катушки от действия деформации. Различают индуктивные тензомеры с поперечным перемещением якоря, в котором изменяется зазор в магнитопроводе, тензомеры с продольным перемещением якоря, при котором изменяется объем сердечника в полости катушки и тензомеры с переменной магнитной проницаемостью. Конструкция индуктивного тензомера с продольным перемещением якоря приведена на рис. 2.15.

Подвижная призма 1 через рычаг 2 и тягу 3 передает перемещение якорю 4, который может перемещаться внутри двух катушек 5. Перемещение сердечника внутри катушек приводит к изменению коэффициента взаимной индукции катушек, что вызывает электрический выходной сигнал, пропорциональный измеряемой деформации. Индуктивные тензомеры с продольным перемещением якоря имеют большую базу (10- 100 мм). Эти тензомеры применяют для измерения деформаций больших конструкций. Преимуществом таких тензометров является нечувствительность к внешним

воздействиям.

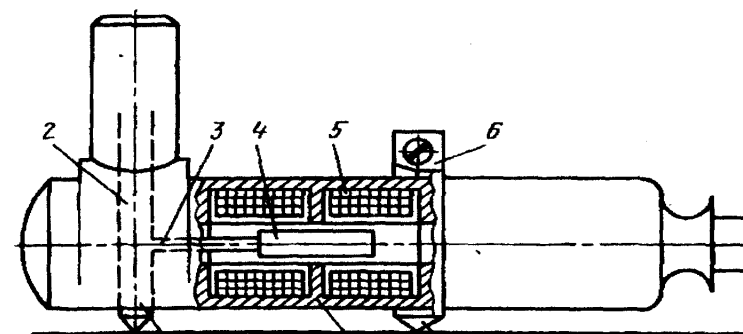


Рис. 2.15. Индуктивный тензомер с продольным перемещением якоря

Индуктивные тензомеры с переменной магнитной проницаемостью основаны на использовании магнитоупругих преобразователей, проницаемость сердечника которых изменяется в зависимости от возникающих в них механических напряжений, обусловленных воздействием внешних механических сил. Магнитоупругие сердечники преобразователя характеризуются относительной магнитоупругой чувствительностью. Размеры сердечников выбирают по допустимому механическому напряжению в материале. Максимальное напряжение не должно превышать (3-5)10 МПа для никеля и пермаллоев и (1 - 1,2)10² МПа для трансформаторных сталей и пермендуров.

Существует большой класс тензометров, действие которых основано на принципе изменения сопротивления металлов или полупроводников под действием деформаций. Чувствительными элементами таких тензометров являются тензорезисторы, которые обычно наклеивают на упругие элементы, преобразующие измеряемую механическую

величину в деформацию упругого элемента. На рис. 2.16 показана схема чувствительного упругого элемента с тензорезисторным преобразователем для измерения механических величин. На П образную скобу наклеивают тензорезистор Т, перемещения опорных концов скобы вызывают

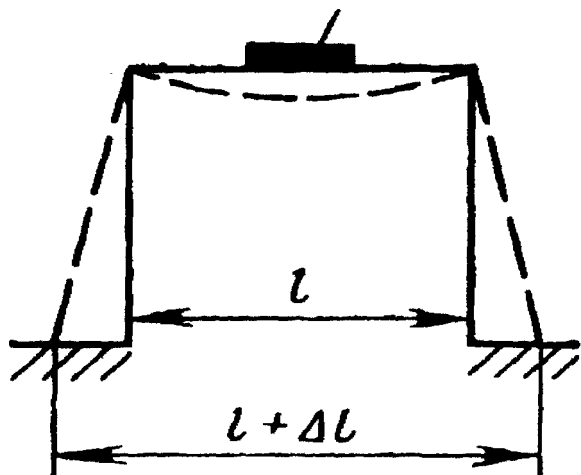


Рис. 2.16. Чувствительный упругий элемент с тензорезисторным преобразователем

изгиб и деформацию верхней части скобы. Скоба является преобразователем перемещений. Сигнал с тензорезистора поступает на схему обработки и регистрации. Одной из важнейших частей тензометров данного класса является упругий элемент, на который наклеивают тензорезистор. Выбор конструкции упругого элемента, материала, из которого его изготавливают, определяется многими факторами, такими как объект исследования, диапазон измерения деформаций и допустимая погрешность. В практике измерений получили

распространение проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы.

Проволочные тензорезисторы используют в качестве чувствительного элемента решетку, выполненную из тонкой проволоки диаметром 2- 30 мкм, полученной методом волочения или микрометаллургии.

Проволочные одноэлементные тензорезисторы в зависимости от вида чувствительного элемента подразделяют на пять групп:

общего назначения с плоской петлевой решеткой из натянутой проволоки диаметром 10-30 мкм с базами $L_p = 2-100$ мм (рис. 2.17, а); с двухслойной петлевой решеткой базами 1-3 мм (рис. 2.17, б); с плоской беспетлевой многопроволочной решеткой из тянутой проволоки диаметром 10-30 мкм с базами $L_p = 3-200$ мм (рис. 2.17, в); беспетлевые однопроволочные из тянутой проволоки диаметром 10- 20 мкм с базами L_p от 10 мм и выше (рис. 2.17, г);

беспетлевые однопроволочные из жилы литого микропровода диаметром 2-6 мкм с базами $L_p = 1-3$ мм (рис. 2.17, д).

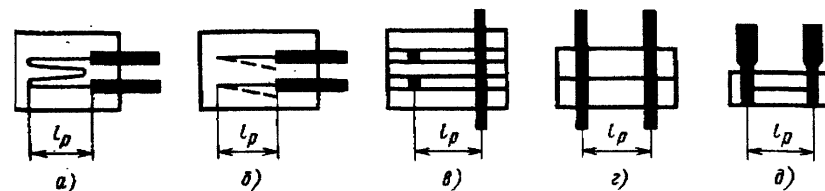


Рис. 2.17. Схемы проволочных одноэлементных тензорезисторов

При измерении сил, деформаций в нескольких направлениях применяют многоэлементные тензорезисторы, так называемые розетки (рис. 2.18), которые образованы из двух, трех или четырех линейных тензочувствительных элементов на одной общей основе. Коэффициент тензочувствительности проволочных тензорезисторов равен $2,0 \pm 0,2$. Номинальный рабочий ток - около 30 мА, предел измерения относительных деформаций 0,003, поперечная чувствительность составляет 2 % от продольной.

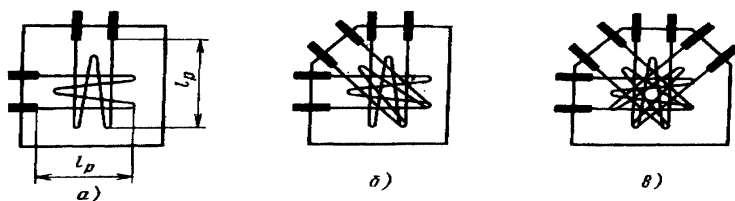


Рис. 2.18. Схемы многоэлементных тензорезисторов

Бесплетлевые тензорезисторы свободны от поперечной чувствительности, отличаются большей стабильностью при длительных измерениях. В качестве основы для пленки проволочных тензорезисторов используют бакелитовый лак, клей БФ-2. Резисторы изготовленные на пленке из клея БФ-2, способны работать при температурах от -40 до 70 °С, а на бакелитовом лаке - до 200 °С. Для высокотемпературных тензорезисторов используют клеи В-58, ВН-15, выдерживающее температуру до 400 °С, или цементы Б·бб, ВН-12 при измерениях до 800 °С.

Фольговые тензорезисторы имеют решетку не из круглого провода, а из тонких полосок фольги прямоугольного сечения толщиной 4-12 мкм, которые наносят на пленку из синтетической смолы или бумаги, пропитанной клеем.

Толщина пленочного основания тензорезистора составляет 30-40 мкм, бумажного 80- 100 мкм. В связи с большей теплоотдачей фольговых тензорезисторов ток, протекающий через преобразователь, может составлять 0,5А, что повышает чувствительность тензопреобразователя. В качестве основы используют пленку из лака ВЛ-931, клея БФ-2 и бумагу. Основные характеристики фольговых тензорезисторов приведены в табл.2.15. Температурный диапазон фольговых тензорезисторов 1ФКТК и 2ФКТК от -50 до 50 °С, а 3ФКТК- от 10 до 200 °С, предельная измеряемая относительная деформация 0,003.

Таблица 2.15

Фольговые тензорезисторы

| Тип | Эскиз | Номинальный ток, мА | Рабочий диапазон температур, °С | мм | | | | Материал основы | Тип связующего |
|-------|-------|---------------------|---------------------------------|----|----|-----|-----|-----------------|----------------|
| | | | | l | L | b | B | | |
| 2ФКПА | | 50 | От -40 до 70 | 1 | 7 | 5 | 8 | Пленка ВЛ-931 | Циакрил |
| | | 100 | | 3 | 9 | 6 | 8 | | |
| | | 150 | | 5 | 11 | 8 | 9,5 | | |
| | | 200 | | 5 | 11 | 6 | 11 | | |
| | | 300 | | 10 | 20 | 11 | 13 | | |
| | | 400 | | 10 | 20 | 13 | 13 | | |
| 1ФКТК | | 100 | От -40 до 50 | 5 | 14 | 8 | 8 | Пленка БФ-2 | БФ-2 |
| | | 200 | | 5 | 14 | 13 | 8 | | |
| | | 300 | | 10 | 19 | 6 | 8 | | |
| | | 400 | | 10 | 19 | 13 | 8 | | |
| | | 100 | | 15 | 24 | 5 | 5 | | |
| | | 200 | | 15 | 24 | 6,5 | 10 | | |
| 2ФКТК | | 100 | От -50 до 50 | 5 | 14 | 8 | 8 | Бумага | БФ-2 |
| | | 200 | | 5 | 14 | 13 | 8 | | |
| | | 300 | | 10 | 19 | 6 | 8 | | |
| | | 400 | | 10 | 19 | 13 | 8 | | |
| | | 100 | | 15 | 24 | 5 | 5 | | |
| | | 200 | | 15 | 24 | 6,5 | 10 | | |
| 3ФКТК | | 400 | От -10 до 200 | 10 | 19 | 11 | 11 | Бумага | ВК-9 |
| | | 100 | | 15 | 24 | 5 | 5 | | |
| | | 200 | | 15 | 24 | 6,5 | 10 | | |
| | | 300 | | 5 | 14 | 8 | 8 | | |
| | | 400 | | 5 | 14 | 13 | 8 | | |
| | | 100 | | 10 | 19 | 6 | 6 | | |
| ФКРГ | | 500 | 40-50 | 5 | 21 | 21 | 20 | - | - |
| | | 100 | | 5 | 30 | 20 | 20 | | |
| | | 100 | | 10 | 32 | 32 | 32 | | |
| 2ФКМВ | | 100 | От -40 до 70 | - | - | 10 | 12 | Пленка ВЛ-931 | ВЛ-931 |
| | | 50 | | 20 | 24 | 24 | | | |
| | | 100 | | 20 | 24 | 24 | | | |
| | | 200 | | 30 | 30 | 34 | | | |
| 2ФКМТ | | 50 | 40-50 | - | - | 20 | 24 | - | - |
| | | 100 | | 20 | 24 | 24 | | | |
| | | 100 | | 30 | 30 | 34 | | | |
| | | 200 | | 30 | 30 | 34 | | | |

Продолжение табл. 2.15

| Тип | Эскиз | Средне-геометрич. длина, мм | Рабочий ток, мА | Рабочий диапазон температур, °С | мм | | | | Материал основы | Тип связывающего |
|-------|-------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|
| | | | | | l | L | b | B | | |
| 2ФКПД | | 50 100 200 | 50 40-50 15 | От -40 до 70 | 5 5 5 | 24 37 37 | - | - | - | - |
| ФК-ПА | | 70 140 | 15 | | 0,8 1,8 | 2 3,2 | 0,94 | 1,5 | Пленка ВЛ-4 | Циакрин |
| ФК-ПБ | | 70 | 15 | | 0,8 | 3,8 | 1,1 | 1,5 | | |
| ФК-ПВ | | 140 | 15 | | 1,8 | 2,82 | 1,1 | 2,0 | | |
| 2ФКРВ | | 100 50 100 100 70 | 15 40-50 15 | | От -40 до 70 | 3 5 5 10 0,8 | 9 16 23 23 3 | 7 16 19 21 1,1 | - - - - 2,26 | Пленка ВЛ-931 |
| ФК-РА | | 110 | 15 | 1,8 | | 4,2 | 1,1 | 4,2 | Пленка ВЛ-4 | |
| ФК-РБ | | 70 140 | 15 | 0,8 1,8 | | 6 8 | 1,1 1,1 | - | | |

В полупроводниковых тензорезисторах в качестве чувствительного элемента используют монокристаллический полупроводник толщиной 20-50 мкм, шириной до 0,5 мм и длиной 2-12 мм. Особенностью полупроводниковых тензорезисторов является их высокая чувствительность, в 50-60 раз превышающая чувствительность проволочных тензорезисторов, и большой уровень выходного сигнала (0,1 В

и более). Сопротивление полупроводникового тензорезистора при одних и тех же размерах посредством добавления присадок и выбора определенной технологии изготовления может меняться от 100 Ом до 50 кОм. Тензорезисторы из кремния и германия обладают высокой чувствительностью, химически инертны и выдерживают нагрев до 500-540 °С. Конструкции полупроводниковых тензорезисторов приведены на рис. 2.19 а (серия КТЭ и КТД) и рис. 2.19 б (серия Ю-8).

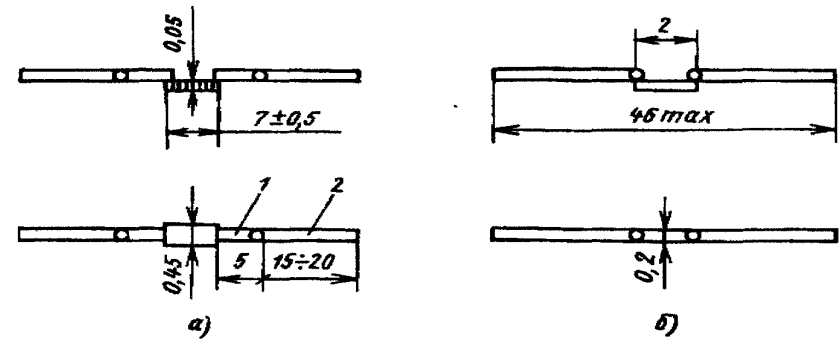


Рис. 2.19. Полупроводниковые тензорезисторы

Вывод тензорезистора имеет два участка. Участок 1 обеспечивает сварку с полупроводником, участок 2 используют для монтажа в схемах. Тензорезисторы КТД имеют проводимость р-типа, а КТЭ - п-типа. Коэффициент тензочувствительности этих тензорезисторов равен 120 ± 20 , номинальный ток 15 мА, рабочий диапазон температур от -160 до 300 °С, температурный коэффициент сопротивления 0,45 % - °С, предельно измеряемая деформация 0,004. Коэффициент тензочувствительности равен 100 ± 10 , номинальный рабочий ток для Ю-8 15 мА, для тензорезисторов Ю-12 10 мА, диапазон

рабочих температур от -60 до 115°C. К недостаткам полупроводниковых тензорезисторов следует отнести их малую механическую прочность, высокую чувствительность к воздействию внешних условий и существенный разброс характеристик от образца к образцу. При измерении динамических нагрузок имеется ряд особенностей.

Длительность надежной работы при циклических и вибрационных нагрузках определяется для тензорезисторов их собственной динамической стойкостью, которая зависит от материалов решетки и основы, конструкции решетки и выводов тензорезисторов. Для низко- и среднечастотных процессов используют проволочные и фольговые тензорезисторы. Динамические нагрузки больших амплитуд измеряют проволочными тензорезисторами. Наибольшей динамической стойкостью обладают тензорезисторы на фенольной, фуриловой и пластифицированной эпоксидной пленочной основах. Охарактеризованные первичные преобразователи являются составной частью сложных измерительных систем.

2.5. Измерения радиационного излучения.

Средства измерения радиационного излучения

По виду регистрируемого излучения различают дозиметрические приборы: для мягкого рентгеновского излучения, для рентгеновского и γ -излучения, для бета и α -излучений, для других тяжелых заряженных частиц и для нейтронов [4]. По способу регистрации излучения в соответствии с физическими методами дозиметрии различают приборы: ионизационные, люминесцентные (сцинтилляционные), полупроводниковые, фото дозиметрические, химические и калориметрические. Наиболее

широкое применение получили ионизационные и люминесцентные дозиметрические приборы. В зависимости от измеряемых параметров различают дозиметрические приборы, предназначенные для измерения дозы или мощности дозы излучения-рентгенометры (дозиметры), и приборы, измеряющие активность или плотность потока ионизирующих излучений, позволяющие вести счет отдельным частицам (квантам) и называемые радиометрами. По измеряемой физической величине и типу регистрирующего устройства бывают приборы, показывающие результат, и интегрирующие, которые суммируют результат измерения за определенный промежуток времени. Для анализа энергетического спектра излучения, выделения определенной компоненты в излучении сложного состава и ряда других целей пользуются вспомогательными радиотехническими приборами (пересчетные устройства с запоминающими схемами, амплитудные дискриминаторы и анализаторы).

Ионизационные приборы основаны на использовании явления взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, при котором часть энергии излучения передается атомам этого вещества и расходуется на их ионизацию. Под действием радиоактивных излучений воздух между обкладками конденсатора ионизируется и его молекулы и атомы из электрически нейтральных превращаются в ионы, несущие положительные и отрицательные заряды. Наличие разности потенциалов, приложенной к обкладкам, приводит к тому, что ионы разных знаков, двигаясь в противоположные направления, вызовут ток в цепи, пропорциональный интенсивности излучения.

Виды ионизирующих излучений

| Термин | Определение |
|-----------------------------------|--|
| 1 Фотонное ионизирующее излучение | Электромагнитное косвенное ионизирующее излучение. |
| 2 Гамма- излучение | Фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц. |
| 3 Тормозное излучение | Фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц. |
| 4 Характеристическое излучение | Фотонное излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома. |
| 5 Рентгеновское излучение | Фотонное излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучений. |
| 6 Корпускулярное излучение | Ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля. Примечание. Нейтринное излучение также относится к корпускулярному излучению. |
| 7 Альфа-излучение | Корпускулярное излучение, состоящее из частиц, испускаемых при ядерных превращениях. |

| | |
|----------------------------|---|
| 8 Электронное излучение | Корпускулярное излучение, состоящее из электронов и (или) позитронов. |
| 9 Бета-излучение | Электронное излучение, возникающее при бета-распаде ядер или нестабильных частиц. |
| 10 Конверсионные электроны | Электронное излучение, возникающее при внутренней конверсии гамма-излучения. |
| 11 Фотоэлектроны | Электронное излучение, возникающее при фотоэлектрическом взаимодействии фотонного излучения с веществом. |
| 12 Комптоновские электроны | Электронное излучение, возникающее при комптоновском (некогерентном) рассеянии фотонного излучения. |
| 13 Электроны Оже | Электронное излучение, возникающее при переходе атомов из возбужденного состояния в энергетическое сопровождаемом фотонах. |
| 14 Протонное излучение | Корпускулярное излучение, состоящее из ядер ^1H . |
| 15 Нейтронное излучение | Корпускулярное излучение, состоящее из нейтронов. Примечания: 1 Нейтроны, испускаемые при делении атомных ядер, называются нейтронами деления. 2 Нейтроны, испускаемые |

| | |
|---------------------------|---|
| | при взаимодействии фотон ного излучения с атомными ядрами, называются фотонейтронами. |
| 16 Холодные нейтроны | Нейтронное излучение со средней энергией нейтронов, меньшей средней энергии атомов окружающей среды. |
| 17 Тепловые нейтроны | Нейтронное излучение, находящееся в термодинамическом равновесии с рассеивающими атомами среды. |
| 18 Промежуточные нейтроны | Нейтронное излучение с энергией нейтронов в интервале от средней энергии тепловых нейтронов до 200кэВ. |
| 19 Быстрые нейтроны | Нейтронное излучение с энергией нейтронов в интервале от 200кэВ до 20МэВ. |
| 20 Сверхбыстрые нейтроны | Нейтронное излучение с энергией нейтронов больше 20МэВ. |
| 21 Мезонное излучение | Корпускулярное излучение, состоящее из мезонов. |
| 22 Нейтринное излучение | Корпускулярное излучение, состоящее из нейтрино. |
| 23 Космическое излучение | Ионизирующее излучение, состоящее из первичного ионизирующего излучения, пропускающего из космического пространства, и вторичного |

| | |
|---|--|
| | ионизирующего излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного ионизирующего излучения со средой. |
| 24 Моноэнергетическое ионизирующее излучение | Ионизирующее излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида с одинаковой кинетической энергией. |
| 25 Немонэнергетическое ионизирующее излучение | Ионизирующее излучение, состоящее из фотонов, различной энергии или частиц одного вида с разной кинетической энергией. |
| 26 Смешанное ионизирующее излучение | Ионизирующее излучение, состоящее из частиц различного вида или из частиц и фотонов. |
| 27 Направленное ионизирующее излучение | Ионизирующее излучение с выделенным направлением распространения. |
| 28 Диффузное ионизирующее излучение | Ионизирующее излучение, не имеющее преимущественного направления распространения. |
| 29 Поляризованное ионизирующее излучение | Ионизирующее излучение, состоящее из частиц с определенной ориентацией спинов и (или) фотонов с определенной ориентацией электрического вектора. |

| | |
|---|--|
| | |
| 30 Естественный фон ионизирующего излучения | Ионизирующее излучение, состоящее из космического излучения и ионизирующего излучения естественно распределенных природных радиоактивных веществ. |
| 31 Фон ионизирующего излучения | Ионизирующее излучение, состоящее из естественного фона и ионизирующих излучений посторонних источников. |

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИСПЫТАНИЕ ПРИБОРОВ И ЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛА И ХОЛОДА

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Электронная аппаратура как объект проектирования, производства и эксплуатации состоит из элементов, компонентов и изделий различного структурного уровня. Функционирование ЭА основано на использовании электронных процессов, происходящих внутри структур составляющих ее частей. Воздействие повышенной и пониженной температуры на РЭА приводит к изменению электрофизических свойств материалов (электропроводности, диэлектрических свойств и т.д.), физико-механических свойств материалов (расширение, размягчение, деформация), вследствие чего происходит тепловая неустойчивость, нестабильность электрических параметров, тепловой пробой диэлектриков и *p-n* переходов полупроводниковых ИС, обрывы и короткие замыкания.

В связи с изложенным является целесообразным:

- 1) изучить влияние положительных и пониженных температур на изменение физико-механических свойств материалов, электрофизических свойств радиоэлементов;
- 2) ознакомиться с конструкциями камер предназначенных для испытания ЭА на воздействия положительных и пониженных температур;
- 3) уяснить методику проведения испытаний ЭА на воздействие положительных и отрицательных температур;
- 4) провести испытание ЭА на воздействие пониженной и повышенной температуры;
- 5) составить отчет о выполнении лабораторной работы с соответствующими выводами.

2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание первое

Изучить влияние отрицательной и положительной температур на радиоматериалы и радиоэлементы и работоспособность ЭА в целом.

Для выполнения данного задания следует проработать теоретический материал в /1, с 87-101, 165-171, 2, с 152-162, 3, 188-192/.

Для обеспечения нормальной работы РЭА и важное значение имеет зависимость их тепловых характеристик.

Повышение температуры ЭА может происходить под воздействием внешних и внутренних факторов, причем это воздействие бывает непрерывным (стационарным), периодическим и аperiodическим.

Действие внешних факторов определяется климатическими условиями, расположением ЭА в месте установки (отсек самолета, на корабле, на автомобиле и т. д.) и расстоянием до внешних источников тепла.

Климатические условия характеризуются температурой окружающего воздуха и интенсивностью солнечной радиации.

Как показывает анализ климатических условий, температура воздуха может колебаться в очень широких пределах (от -70 до $+68^{\circ}\text{C}$), причем верхний температурный предел увеличивается за счет нагрева при воздействии солнечной радиации. Температура и скорость нагрева под действием солнечной радиации зависят от размеров и цвета поверхности радиоаппаратуры, теплопроводности и теплоемкости материала ее шасси, кожуха и других деталей конструкции.

Указанные факторы определяют предельную температуру нагрева, по достижении которой поверхность аппаратуры начинает переизлучать принятое тепло. В

зависимости от места установки аппаратуры на температуру и скорость нагрева может оказывать влияние скорость ветра.

Наличие тепловой инерции, обусловленной теплоемкостью Земли и атмосферы, приводит к тому, что хотя максимальная интенсивность солнечного излучения имеет место в 12 часов дня, суточная температура воздуха максимальна между 13 и 14 часами (по некоторым данным разница указанных температур может достигать $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$). Отсюда следует, что одновременное воздействие на аппаратуру максимальной температуры воздуха и максимальной интенсивности солнечного излучения маловероятно.

Действие внутренних факторов главным образом зависит от схемы и конструкции ЭА.

Непрерывному тепловому воздействию подвергается ЭА, работающая в стационарных условиях (в помещении). Длительность установления стационарного режима ЭА определяется ее назначением и принятыми схемно-конструкторскими решениями; она колеблется от 0,5 до $2,5\text{--}3$ ч.

периодическому тепловому воздействию подвергается полевая, самолетная и другая специальная радиоаппаратура подвижного типа. такой вид воздействия возникает при повторно-кратковременном включении ЭА, при резких изменениях условий эксплуатации (взлет и приземление самолета), а также при суточном изменении температуры.

Периодические изменения теплового воздействия приводят к многократным деформациям элементов: чем больше разность между наивысшей и наименьшей температурами, тем выше интенсивность воздействия. Воздействие периодических изменений температуры оказывается тем интенсивнее, чем больше скорость и частота изменения. Для наземной, полевой аппаратуры, находящейся в дежурном режиме, перепады температуры в блоках за время ее прогрева достигают 60°C . Время прогрева зависит от

назначения, схемного решения и конструкции РЭА. Оно колеблется от 10 мин до 3 ч.

При эксплуатации авиационной аппаратуры перепады температуры могут достигать 80°C при скорости изменения температуры до 50° С в 1 мин.

Апериодическое тепловое воздействие имеет место в аппаратуре, устанавливаемой на ракетах (в моменты запуска и вхождения в плотные слои атмосферы), и в ряде других случаев. При этом в результате теплового удара чаще всего возникают внезапные отказы. Повышение температуры РЭА может вызывать как постепенные, так и внезапные отказы, вызванные превышением предельно допустимых значений температуры материалов и различных радиоэлементов.

Воздействие повышенной температуры приводит к изменению физико-химических и механических свойств материалов и элементов, что вызывает изменение электрических и механических параметров РЭА. Известно, что большое место в конструкциях раз

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияет положительная и отрицательная температура на диэлектрические характеристики радиоматериала?
2. Перечислите основные параметры изучаемой камеры тепла и холода.
3. Как влияет повышенные и пониженные температуры на работу диодов, резисторов и транзисторов?
4. Чем отличается последовательность выполнения операций в методике проведения испытаний на холодоустойчивость от последовательности испытаний на теплоустойчивость?
5. Возможно ли совмещение испытаний на холодоустойчивость с испытаниями на воздействие росы и инея?
6. Назовите способы получения низких температур.

7. Что такое косвенный способ охлаждения?
8. Перечислите наиболее распространенные виды хладагентов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИСПЫТАНИЕ ПРИБОРОВ ЭС НА УДАР

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Среди множества внешних факторов, воздействующих на приборы и ЭС, следует отметить механические воздействия, из которых особую опасность представляет удар.

Установлено, что наибольшая опасность повреждения возникает при наименьшей длительности нарастания импульса. Опасность повреждения вследствие удара обычно меньше для системы с затухающими колебаниями, чем для систем с незатухающими колебаниями, особенно для системы с большим числом степеней свободы. Возможными причинами ударных воздействий на изделия могут быть столкновения, взрывы, сверхзвуковое давление, случайные падения и т.д. Указанные воздействия могут возникать при эксплуатации РЭА на самолетах, кораблях, ракетах, автомобилях, вездеходах, а также при их транспортировании, когда они подвергаются неосторожному обращению обслуживающего персонала.

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен:

- 1) изучить влияние удара на радиоэлектронную аппаратуру;
- 2) рассмотреть механизм воздействия ударной нагрузки;
- 3) ознакомиться с существующими видами ударных стендов;
- 4) уяснить методику проведения испытания на ударном стенде;
- 5) провести испытания на действующем пакете;

б) составить отчет о выполненной работе.

Информацию о испытаниях РЭА на воздействие удара можно использовать при курсовом и дипломном проектировании.

При выполнении лабораторной работы следует обратить особое внимание на выполнение техники безопасности.

2. ЗАДАНИЕ У ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ..

2.1. Задание первое.

Изучить влияние ударных нагрузок на ЭА.

Возникновение ударов связано с резким и быстрым перемещением объекта, на котором установлена аппаратура. Возможны случаи, когда прикладываемая при этом нагрузка превышает допустимый безопасный уровень, что приводит к отказу ЭА. Действие механических ударов сопровождается возбуждением затухающих колебаний, т.е. неустановившейся вибрацией на частотах собственных колебаний элементов и частей конструкции. Уровни разрушающих усилий возрастают, когда элементы конструкции ЭА резонируют на частотах возмущений, вызванных ударом.

Удар, испытываемый ЭА, зависит от веса комплекса оборудования, в который она входит, и ее положения на объекте. Ускорения, возникающие при ударе, можно подсчитать по формуле (3.1):

$$a = \frac{V^2}{2gS}, \quad (2.1)$$

где V – мгновенная скорость в момент удара, см/ок;

g — ускорение свободного падения;

S – перемещение при ударе или суммарная величина упругих и остаточных деформаций ударяющихся элементов.

В механике удар твердого тела рассматривается абсолютно как некоторый скачкообразный процесс,

продолжительность которого бесконечно мала. Во время удара в точке соприкосновения соударяющихся тел возникают большие, но мгновенно действующие силы, приводящие к конечному изменению количества движения. В реальных системах всегда действуют конечные силы в течение конечного интервала времени, и соударение двух движущихся тел связано с их деформацией вблизи точки соприкосновения и распространением волны сжатия внутри этих тел. Продолжительность удара зависит от многих физических факторов: упругих характеристик материалов соударяющихся тел, их формы и размеров, относительной скорости сближения и т.д.

Изменение ускорения во времени принято называть импульсом ударного ускорения или ударным импульсом, а закон изменения ускорения во времени – формой ударного импульса. К основным параметрам ударного импульса относят пиковое ударное ускорение (перегрузку), длительность действия ударного ускорения и форму ударного импульса.

Результат воздействия удара на изделие (реакция изделия) зависит от его динамических свойств – массы, жесткости и частоты собственных колебаний. Под реакцией ЭА на воздействие ударного импульса понимают отклик изделия на это воздействие. Различают несколько основных видов реакции ЭА, соответствующих баллистическому (или квазиамортизационному), квазирезонансному и статистическому (или квазистатистическому) режимам возбуждения.

2.2. Задание второе.

Ознакомиться с характеристиками режимов испытаний /3.с.136-138/

Характеристики режимов испытания. Различают два вида испытания изделий на ударную нагрузку: на ударную прочность и ударную устойчивость. Испытание на ударную прочность проводят с целью проверки способности ЭА

противостоять разрушающему действию механических ударов, сохраняя свои параметры после воздействия ударов в пределах, указанных в ТД на изделие. Испытание на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности ЭА выполнить свои функции в условиях действия механических ударов.

При испытании на ударную нагрузку испытываемые РЭА подвергают воздействию либо одиночных, либо многократных ударов. В последнем случае частота следования ударов должна быть такой, чтобы можно было выполнить контроль проверяемых параметров ЭА. Основные характеристики режимов испытания ЭА при многократном воздействии ударов – пиковое ударное ускорение и общее число ударов – задаются в соответствии со степенью жесткости испытаний (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Основные характеристики режимов испытания

| Степень жесткости | Пиковое ударное ускорение, g | Общее число ударов для предусмотренной в стандартах и ТУ на изделия выборки объемом | |
|-------------------|------------------------------|---|---------|
| | | 3 и менее | более 3 |
| I | 15 | 12 000 | 10 000 |
| II | 40 | 12 000 | 10 000 |
| III | 75 | 6 000 | 4 000 |
| IV | 150 | 6 000 | 4 000 |

Форма ударного импульса как одна из важнейших характеристик, обеспечивающих единство испытаний, должна регламентироваться в ТУ. Самым опасным для изделия является трапецеидальный импульс, поскольку он имеет наиболее широкую область квазирезонансного возбуждения и наибольший коэффициент динамичности в этой области.

Однако импульс трапецеидальной формы трудно воспроизводится на лабораторном оборудовании. Пилообразный импульс позволяет достигнуть наилучшей воспроизводимости испытаний, так как в силу несимметричности его остаточный спектр является непериодическим. Но получить пилообразный импульс труднее, чем импульсы другой формы. На практике при испытании чаще всего используют полусинусоидальный ударный импульс, формирование которого наиболее просто и требует наименьших затрат энергии.

Испытание на ударную нагрузку проводят в квазирезонансном режиме возбуждения. Длительность действия ударного ускорения τ выбирают в зависимости от значения нижней резонансной частоты $f_{он}$ изделия.

Если изделия имеют амортизаторы, то при выборе длительности действия ударного ускорения учитывают низшие резонансные частоты самих изделий, а не элементов защиты.

В качестве проверяемых выбирают параметры, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости РЭА в целом (искажение выходного сигнала, стабильность характеристик функционирования и т.д.).

При разработке программы испытаний направления воздействий ударов устанавливают в зависимости от конкретных свойств испытываемых РЭА. Если свойства РЭА неизвестны, то испытание следует проводить в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При этом рекомендуется выбирать (из диапазона, оговоренного в ТУ) длительность ударов, вызывающих резонансное возбуждение испытываемых РЭА.

Ударную прочность оценивают по целостности конструкции (например, отсутствию трещин, наличию контакта). Изделия считают выдержавшими испытание на ударную прочность, если после испытания они удовлетворяют требованиям стандартов и ПИ для данного вида испытания.

Испытание на ударную устойчивость рекомендуется

проводить после испытания на ударную прочность. Часто их совмещают. В отличие от испытания на ударную прочность испытание на ударную устойчивость осуществляют под электрической нагрузкой, характер и параметры которой устанавливают в ТУ и ПИ. При этом контроль параметров РЭА производят в процессе удара для проверки работоспособности изделий и выявления ложных срабатываний. Изделия считают выдержавшими испытание, если в процессе и после него они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

2.3. Задание третье.

Изучить устройства для испытания РЭА на воздействие удара /1. с.263-268. 2. с.171-178. 3. с.138-143/

Устройства для испытания. Ударные стенды классифицируют по следующим признакам:

По характеру воспроизводимых ударов – стенды одиночных и многократных ударов;

По способу получения ударных перегрузок – стенды свободного падения и принудительного разгона платформы с испытываемым изделием;

По конструкции тормозных устройств – с жесткой наковальней, с пружинящейся наковальней, с амортизирующими резиновыми и фетровыми прокладками, со сминающимися деформируемыми тормозными устройствами, с гидравлическими тормозными устройствами и т.д.

В зависимости от конструкции ударного стенда и в особенности от применяемого в нем тормозного устройства получают ударные импульсы полусинусоидальной, треугольной и трапецеидальной формы.

Для испытания ЭА на одиночные удары служат ударные стенды копрового типа, а на многократные – стенды кулачкового типа, воспроизводящие удары полусинусоидальной формы. В этих стендах используется принцип свободного падения платформы с испытываемым

изделием на амортизирующие прокладки.

Основными элементами ударного стенда копрового типа (рис.3.1.) являются: стол 3; основание 7, служащее для гашения скорости стола в момент удара; направляющая 4, обеспечивающая горизонтальное положение стола в момент удара; прокладки 5, формирующие ударный импульс.

Энергия, необходимая для создания удара, накапливается в результате подъема стола с закрепленным на нем испытываемым изделием на заданную высоту. Для подъема стола и последующего его сбрасывания стенд снабжается приводом и механизмом сброса. Кинетическая энергия, приобретенная телом в процессе предварительного разгона, гасится в результате соударения с неподвижной преградой. Длительность ударного воздействия складывается из длительности торможения ударяющего тела (активный этап удара) и длительности восстановления упругих деформаций соударяющихся тел (пассивный этап удара). Ускорение определяется скоростью соударения и зависит от высоты падения. В конце торможения ударяющего тела скорость соударения падает до нуля, а ударное ускорение и перемещение тел относительно друг друга достигают максимальных значений. Условия воспроизведения закона изменения ударного ускорения во времени определяются начальной скоростью соударения тел, максимальным перемещением при соударении и максимальным ударным ускорением. Стенды копрового типа с жесткой наковальней используют для получения ударных импульсов с большим ударным ускорением и очень малой длительностью (единицы микросекунд).

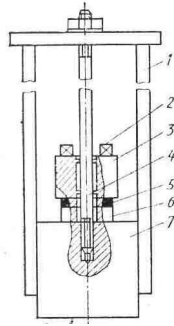


Рис. 3.1. Схема установки для испытания РЭА на воздействие одиночных ударов:

1 – стойка; 2 – изделие; 3 – стол; 4 – направляющая; 5 – амортизирующие прокладки; 6 – накладка; 7 –основание

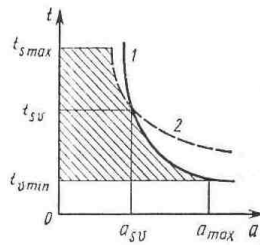


Рис. 3.2. Эксплуатационные зависимости длительности фронта ударного импульса от ударного ускорения при ограничении по скорости соударения (1) и по пути торможения(2)

Ограничивающими условиями при воспроизведении ударной нагрузки являются соблюдение требуемой скорости и заданного пути торможения, соответствующих максимальной деформации тормозного устройства. Предельные эксплуатационные характеристики ударного стенда можно получить, используя зависимости (3.2) и (3.3),

$$t_v = \frac{V_{np}}{Aa}; \quad (3.2)$$

$$t_s = \sqrt{Snp(Ba)}, \quad (3.3)$$

где t_v и t_s – длительности фронта воспроизводимого ударного импульса с учетом ограничения по предельным скорости и пути торможения ударяющего тела; V_{np} и S_{np} – предельная скорость и предельно допустимый тормозной путь ударяющего тела; A и B – коэффициенты, значения которых зависят от формы фронта ударного импульса; a – ударное ускорение.

Тогда ударное ускорение a_{sv} формула (3.4) и длительность t_{sv} формула (3.5) фронта воспроизводимого ударного импульса, удовлетворяющие одновременно ограничениям по скорости и пути торможения ударяющего тела,

$$a_{sv} = \frac{B}{A^2} \frac{V_{np}^2}{Snp}; \quad (3.4)$$

$$t_{sv} = \frac{A Snp}{B V_{np}}. \quad (3.5)$$

На рис. 3.3. приведены эксплуатационные характеристики $t_v=f(a)$ и $t_s=f(a)$ ударного стенда. Заштрихованная область показывает какие длительности фронта ударного импульса и ударные ускорения можно воспроизводить на ударном стенде. Значения a_{max} , t_{vmin} , t_{smax} соответствуют предельным эксплуатационным характеристикам стенда и определяются по формулам (3.2), (3.3).

На рис. 3.3. показано устройство механического стенда кулачкового типа. Стол 1 представляет собой стальную плиту с пазом для крепления изделия, на нижней стороне которой имеются направляющие 4, перемещающиеся во втулках, укрепленных в кронштейнах станины. На специальных упорах чугунной станины расположены амортизирующие прокладки 5 для регулирования ударного ускорения, а в нижней части станины имеются резиновые амортизаторы 8, поглощающие

часть энергии удара. Приводной механизм, состоящий из клиноременной передачи 2 и электродвигателя 7, установлен на площадке внутри станины. Натяжение ремня регулируют изменяя набор шайб, размещенных под электродвигателя. Подъем стола осуществляется с помощью кулачка 3, вращающегося от приводного механизма.

При испытании на воздействие многократных нагрузок ударные стенды должны обеспечивать получение заданного ускорения с погрешностью не более $\pm 20\%$. Ударная перегрузка, длительность и форма ударного импульса как в стендах копрового типа, так и в стендах кулачкового типа регулируются в широких пределах, как правило, с помощью амортизирующих войлочных, фетровых, резиновых, пластмассовых или комбинированных прокладок. Для формирования полусинусоидального импульса длительностью 0,5..5 мс применяют резину средней и повышенной твердости или фетр; для формирования импульса большей длительности – резины малой твердости или губчатые; для импульсов длительностью менее 0,5 мс может оказаться целесообразным использование винипласта, фторопласта и других листовых материалов. В некоторых случаях применяют многослойные прокладки. При этом между резиновыми могут устанавливаться металлические прокладки их листового алюминия или стали толщиной 1...2 мм. Удары длительностью 0,1 и менее рекомендуется получать соударением стальных закаленных поверхностей – плоской и сферической. В этом случае стол выполняется в виде бойка.

Помимо рассмотренных механических ударных стендов применяют электродинамические и пневматические ударные стенды. В электродинамических стендах через катушку возбуждения подвижной системы пропускают импульс тока, амплитуда и длительность которого определяют параметры ударного импульса.

Так как принцип действия этих стендов основан на взаимодействии электромагнитных полей, то их конструкции

имеют много общего с электродинамическими вибростендами. На пневматических стендах ударное ускорение получают при соударении стола со снарядом, выпущенным из пневматической пушки.

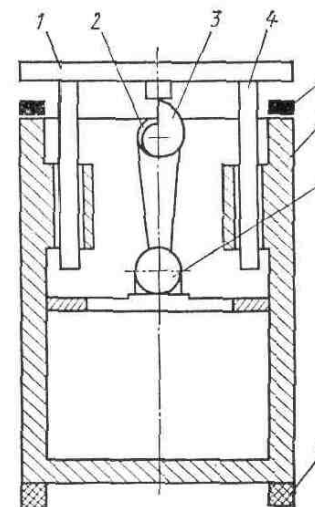


Рис.3.3. Схема стенда для испытания ЭА на воздействие многократных ударов:

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

Приспособления для крепления изделий, испытываемых на удар, как и в случае вибрационных испытаний, должны передавать ударные воздействия к изделиям с минимально возможными искажениями. Для этого необходимо, чтобы режим возбуждения приспособления при испытании был квазистатическим, для чего должно выполняться условие $f_o \tau \geq K$, где f_o – собственная частота наиболее слабого звена, определяющего жесткость всего приспособления в целом; τ – наименьшая расчетная длительность импульса, K – коэффициент, зависящий от условий испытания, массы и

габаритных размеров изделия, формы ударного импульса (для импульса полусинусоидальной формы принимают $K=2..5$).

Собственные частоты приспособления и испытываемого изделия не должны совпадать друг с другом, а также с частотой основной гармоники наложенных колебаний ударного ускорения, вносимых испытательной установкой. Для трапецеидального и пилообразного импульсов принимают $f_{от}$ более 10 и 2 соответственно.

Конструкцию приспособления обычно выбирают в виде плиты, сварного куба или рамы сотовой конструкции. Наиболее широкое распространение получила сотовая конструкция, обладающая высокими точностью и механической прочностью при небольшой массе. Для повышения жесткости конструкции корпуса приспособления обычно применяют ребра жесткости, усиливающие планки.

При измерении параметров удара необходимо регистрировать ускорение (амплитуду), длительность и форму ударного импульса. Для характеристики испытательного режима в случае, когда амплитуда наложенных колебаний составляет более 5% амплитуды ударного импульса, регистрируют также относительную амплитуду и частоту наложенных колебаний и время нарастания ударного ускорения. Для измерения параметров ударного импульса применяют специальную аппаратуру (рис.3.4.).

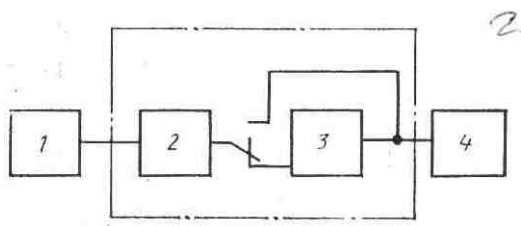


Рис. 3.4. Структурная схема аппаратуры для измерения параметров удара:

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

Для преобразования механических колебаний в электрические используют, как правило, пьезоэлектрический датчик 1. При измерении параметров удара датчик должен быть жестко закреплен в контрольной точке. Усилитель 2 служит для согласования большого выходного сопротивления датчика с малым входным сопротивлением регистрирующего прибора 4. Для снижения уровня шумов согласующего усилителя, исключения влияния резонанса датчика и уменьшения амплитуды суперпозиции колебаний, искажающих форму ударного импульса и затрудняющих измерения, в схему включен фильтр 3, имеющий максимально достижимую равномерность частотной характеристики в полосе пропускания. На экране электронного осциллографа со ждущей разверткой и длительным послесвечением, применяемого в качестве регистрирующего прибора, непосредственно наблюдают форму ударного импульса и производят измерение его параметров.

2.4. Задание четвертое

Ознакомиться с конструкцией, характеристиками, условиями

Эксплуатации установки ударной 12МУ-50/14070-1.

Схема ударного стенда соответствует схеме изображенной на рис. 3.5.

Основные технические данные и характеристики ударного стенда.

1. Установка предназначена для технологических испытаний изделий и приборов электронной техники массой до 50 кг., включая массу приспособления для крепления изделия, на воздействие ударной тряски с ускорение от 98м/с^2 (10 g) до 1470м/с^2 (150 g) и частоте от 10 до 100 ударов в минуту (+2 удара в минуту).

2. Установка может работать при температурах от 10 до 35°C , относительной влажности воздуха от 65 до 80%,

атмосферном давлении от $8 \cdot 6 \cdot 10^4$ (650) до $10,6 \cdot 10^4$ (800) Па (мм рт.ст).

3. Установка должна эксплуатироваться в помещении общей площадью $7,5 \text{ м}^2$ в напольном или подвальном этаже здания. В том числе стенд ударный в помещении площадью 5 м^2 оборудованном:

- звукоизоляцией, снижающей уровень звукового давления до установленных норм;
- заземляющим контуром, сопротивление не более 4 Ом;
- бетонным фундаментом.

4. При эксплуатации стенд ударный должен быть установлен на фундамент.

5. Питание установки от сети переменного тока напряжением $220 \pm \frac{22}{11}$ В, частоты 50 Гц.

6. Потребляемая электрическая мощность (максимальная) не более 1кВт.

7. Установка обеспечивает получение сочетаний ускорений и длительности (КР) ударного импульса согласно табл.3.2.

Примечание: Знаком (КР) отмечены параметры, которые являются критериями работоспособности установки.

8. Установка обеспечивает плавную регулировку ускорения в соответствии с табл.2.4.1.

9. Установка обеспечивает ступенчатую регулировку длительности ударного импульса в соответствии с табл.2.4.1.

10. Установка с нагрузкой на столе массой до 50 кг обеспечивает частоту от 10 до 100 ударов в минуту. Погрешность установки частоты ударов не более ± 2 удара в минуту. Регулировка частоты ударов плавная.

11. Форма ударного импульса (КР) в контрольной точке (центре) полусинусоидальная и соответствует форме

изображенной на рис.1. с допустимыми отклонениями ускорения и длительности ударного импульса в пределах, ограниченных сплошными линиями.

12. Значение ускорения в направлении, основному направлению перпендикулярном основному направлению ударного импульса, измеренное в контрольной точке стола, не превышает 30% от значения ускорения ударного импульса в основном направлении.

13. Значение ускорения в различных точках стола отличается от значения ускорения в контрольной точке не более чем на 15%.

14. Значение ускорения вторичного удара, измеренное в контрольной точке, не превышает 20% от значения ускорения основного удара (КР).

15. Установка обеспечивает длительность непрерывной работы в течение 8 часов, и не более 24 000 ударов.

16. Нарботка на отказ при доверительной вероятности $P^*=0,8$ не менее 1000 часов.

Таблица 3.2

Сочетание ускорений и длительности ударного импульса —

| Нагрузка на стол массой, кг | Длительность ударного импульса, мс | Ускорение ударного импульса м/с^2 (g) | Ускорения, соответствующие рекомендациям МЭК, м/с^2 (g) | |
|-----------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------|
| | | | 62-2-27 | 68-2-29 |
| 20...50 | 16 | 147 (15) | - | - |
| Без нагрузки | 11 | 98 (10)...147 (15) | 147 (15) | - |
| 50 | 11 | 98 (10)...294 (30) | 147(15); 294(30) | - |
| Без нагрузки | 6 | 98(10)..390(40) | 294(30) | 245(25), 390 (40) |
| 50 | 6 | 98(10)...557(60) | 294(30) | 254(25), 390(40) |
| Без нагрузки | 3 | 98(10)...735(75) | 490(50) | - |
| 50 | | | | |

3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Закрепляем испытываемое изделие на ударном стенде под руководством инженера. Включаем сеть (рис.3.5.). Выставляем ручкой регулировки частоту ударов. По шкале «частота ударов» регистрируем число ударов. В случае отказа элементов крепления остановить испытания, нажав клавишу СТОП.

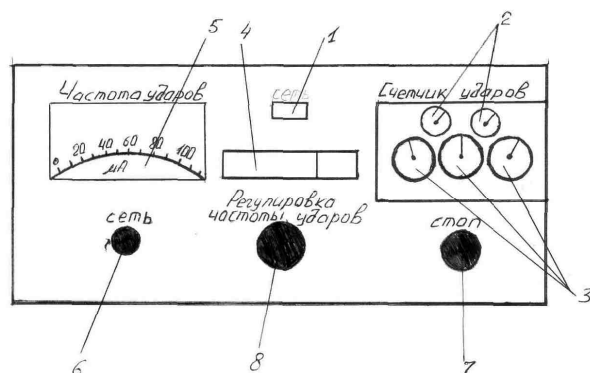


Рис.3.5. Пульт управления ударной установки.

- 1 – датчик «сеть»; 2 – ручка установки О; 3 – счетчик ударов: а) тысячи-сотни ударов, б) сотни-единицы ударов, в) единицы ударов; 4 – датчик «Время наработки»; 5 – шкала «Частота ударов»; 6 – кнопка «сеть»; 7 – кнопка «стоп»; 8 – ручка регулировки частоты ударов

4. ОТЧЕТ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отчет по индивидуальной работе должен содержать:

- А) наименование работы и ее цель;
- Б) краткие сведения из теории;
- В) результаты выполнения заданий;
- Г) выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое механический удар?
2. В каком случае уровни разрушающих усилий возрастают при случайном ударе?
3. Что такое ударный импульс?
4. Приведите характеристики режимов испытаний РЭА на ударную нагрузку.
5. Влияет ли форма ударного импульса на величину разрешения изделия РЭА?
6. По каким видам классифицируются ударные стенды?
7. Приведите схему установки для испытания на воздействие одиночных импульсов.
8. Приведите эксплуатационную зависимость длительность фронта ударного импульса от ударного ускорения при ограничении по скорости.
9. Как определяются предельные эксплуатационные характеристики ударного стенда?
10. Приведите схему стенда для испытаний РЭА на воздействие многократных ударов.
11. Каковы требования к приспособлениям для крепления изделий, испытываемых на удар?
12. Приведите структурную схему аппаратуры для измерения параметров удара.
13. Приведите основные характеристики используемого ударного стенда.
14. Приведите порядок выполнения лабораторного задания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИСПЫТАНИЕ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Радиоэлектронная аппаратура (ЭА), устанавливаемая на подвижных объектах — автомобилях, самолетах, ракетах и т.д. — в процессе эксплуатации подвергается интенсивным механическим воздействиям — ударам, вибрациям, линейным перегрузкам, акустическим шумам. Надежность такой ЭА может снижаться в десятки и сотни раз по сравнению с аналогичной аппаратурой, используемой в стационарных условиях. Для многих видов ЭА, например самолетной и ракетной, наиболее опасны вибрационные воздействия, особенно если они приводят к возникновению резонансных колебаний таких широко распространенных элементов конструкций ЭА, как электромонтажные платы. Виброперегрузки, действующие на электрорадиоэлементы (ЭРЭ), увеличиваются при этом в десятки раз, что вызывает значительное возрастание интенсивности отказов как за счет механических разрушений элементов конструкций, так и за счет искажения параметров электрических сигналов. Поэтому устранение резонансных колебаний плат или их снижение до допустимого уровня составляют одну из важнейших задач конструктора самолетной или ракетной ЭА. Решение таких задач требует от него определенных познаний в области теории колебаний и других областях.

2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1 Общая характеристика вибраций

Под вибрацией электронной аппаратуры (ЭА) обычно понимают механические колебательные процессы в ее конструкции. Существует сравнительно много причин возникновения вибраций. Все их можно разделить на две

группы — внутренние и внешние. К внешним относятся, например, неравномерное вращение вала двигателя, деталей трансмиссии или ходовой части, неровности дороги, работа двигателя ракеты, пульсирующие порывы ветра, акустический шум, атмосферная турбулентность, к внутренним — несбалансированность роторов двигателей вентиляторов и др.

Виды вибраций. Реальные вибрации часто являются случайными, имеют сложный вид, и их характеристики с трудом поддаются точному описанию. Для практических целей обычно используются некоторые классические формы — гармоническая, квазигармоническая, широкополосная и узкополосная случайные вибрации, показанные на рис. 3.6.

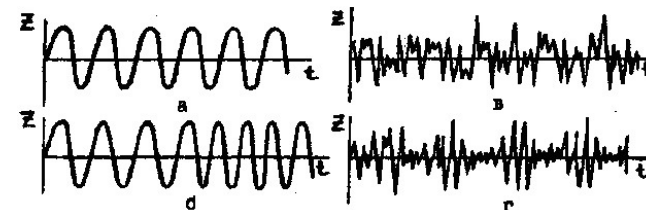


Рис. 3.6. Эпюры вибраций: а - гармоническая; б - квазигармоническая; в - случайная широкополосная; г - случайная узкополосная

Гармоническая вибрация сравнительно редко встречается в реальных условиях, например как результат несбалансированности ротора двигателя, но широко используется при лабораторных испытаниях и при анализе. Важно также, что она находит широкое применение для определения динамических характеристик конструкций, которые затем используются при определении реакции системы на более сложные формы вибрации.

Перемещение $Z(t)$ при гармонической синусоидальной вибрации может быть описано выражением:

$$z(t) = Z_0 \sin \omega \cdot t, \quad (3.1)$$

где Z_0 — амплитуда перемещения, ω — круговая частота колебаний; t — время.

Выражения для скорости $\dot{Z}(t)$ и ускорения $\ddot{Z}(t)$ находятся дифференцированием по времени выражения (1.1);

$$\dot{Z}(t) = \frac{dz}{dt} = \omega \cdot Z_0 \cos \omega \cdot t = \dot{Z}_0 \sin(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}), \quad (3.1.2)$$

где $\dot{Z}_0 = \omega \cdot Z_0$ амплитуда скорости колебаний;

$$\ddot{Z}(t) = \frac{d^2z}{dt^2} = -\omega^2 Z_0 \sin \omega t = -\omega^2 z(t) = \ddot{Z}_0 \sin(\omega t + \pi), \quad (3.1.3)$$

где $\ddot{Z}_0 = \omega^2 \cdot Z_0$ - амплитуда ускорения колебаний.

Сравнивая выражения (3.1.1 — 3.1.3), можно заключить, что при синусоидальных колебаниях ускорение опережает по фазе перемещение на угол π , а скорости — $\pi/2$. Для описания гармонической вибрации часто используется комплексная форма в виде

$$z(t) = Z_0 e^{i\omega \cdot t}, \quad (3.1.4)$$

так как выражение $e^{i\omega \cdot t} = \cos \omega \cdot t + i \sin \omega \cdot t$, также описывает гармонические колебания с циклической частотой ω .

Таким образом, основными характеристиками гармонической вибрации являются амплитуда колебаний (амплитуда перемещения, скорости или ускорения) и частота. Их значения, прежде всего, определяются типом объекта, на котором устанавливается ЭА. Например, к ракетной РЭА часто предъявляется требование нормального функционирования при испытаниях на вибростенде в диапазоне 10-2000 Гц с амплитудой виброускорения до 20-40 g, где g — ускорение силы тяжести.

Квазигармоническая вибрация, имеющая непрерывное изменение частоты, более сложна при аналитическом изучении. Обычно она возникает в период разгона и торможения механизмов с вращающимися элементами. В настоящем пособии задачи с использованием такого типа

вибраций рассматриваться не будут.

Широкополосная случайная вибрация представляет довольно точную идеализацию вибрации объектов, например летательных аппаратов, и часто описывается как нормальный стационарный случайный процесс. Случайный процесс нормальный, если его плотность распределения $f(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$ имеет вид нормального закона и стационарный - если закон распределения не изменяется во времени.

Случайный процесс характеризуется математическим ожиданием

$$m_z(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t z(\tau) d\tau$$

и автокорреляционной функцией

$$K(\Delta\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t z(\tau) z(\tau + \Delta\tau) d\tau,$$

которая при $\Delta\tau=0$ становится равной дисперсии

$$D_z(t) = K(0) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t z^2(\tau) d\tau,$$

определяющей мощностью случайного процесса.

Одной из важнейших характеристик случайного процесса является спектральная плотность дисперсии $S_z(f)$ (рисунок 3..2), которая связана с дисперсией случайного процесса соотношением

$$D_z = \int_0^{\infty} S_z(f) df. \quad (3.1.5)$$

Учитывая выражение (3.1.5) легко получить формулу для среднеквадратичного значения процесса

$$\sqrt{Z^2} = \sqrt{D_z} = \sqrt{\int_0^{\infty} S_z(f) df}. \quad (3.1.6)$$

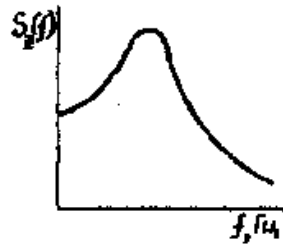


Рис. 3.7. Спектральная плотность случайного процесса

В техническом задании на разработку РЭА может быть указано требование обеспечения нормального функционирования при действии случайной вибрации в заданном диапазоне частот с некоторой величиной спектральной плотности ускорения. Диапазон частот может достигать 2-5 кГц, а наиболее типичные значения спектральной плотности лежат в пределах $0,01 - 1 \text{ g}^2 / \text{Гц}$.

Узкополосная случайная вибрация обычно возникает как реакция упругих слабодемпфированных систем на широкополосную случайную -вибрацию. На практике часто необходимо определить не только среднеквадратическое значение реакции в соответствии с формулой (1.6), но и ее пиковые значения. Эту задачу можно решить только вероятностно. Для нормального случайного процесса пиковые значения распределены по закону Рэлея:

$$P(Z_n) = e^{-\frac{z_n^2}{2Z^2}}. \quad (3.1.7)$$

Если известны среднеквадратические значения, то легко можно найти, какая часть пиков превысит заданный уровень.

2.2 Причины отказов ЭА при действии вибраций

Вибрации ЭА вызывают отказы ЭА как из-за механических разрушений элементов конструкций так и вследствие изменений параметров электрорадиоэлементов и узлов, приводящих к искажениям характеристик сигналов.

Можно выделить четыре причины отказов ЭА, каждая из которых способна вызывать отказы того и другого характера.

Первая причина заключается в том, что амплитуда перемещения при вибрациях некоторого элемента или группы элементов по крайней мере один раз превысит допустимую величину. В качестве типичных примеров можно привести чрезмерно большое перемещение баллона электронной лампы, вызывающее ее разрушение при соударении с соседними деталями, замыкание контактов реле, короткое замыкание неизолированного провода и т.д.

Вторая причина отказов состоит в том, что амплитуда перемещения превосходит допустимую величину в течение относительно большого промежутка времени. Отказы, возникающие по этой причине, как правило, связаны с искажениями параметров сигналов, которые часто называют виброшумами. Так, например, виброшумы электронных ламп появляются вследствие колебаний катодов прямого накала и витков сеток; дребезжания катода, рамок или траверс сеток в слюдяных изоляторах при наличии люфтов; колебаний электродов, вызванных резонансными колебаниями вспомогательных деталей и узлов; всплесков затухающих колебаний из-за внутриламповых ударов. В объемных резонаторах колебания элементов приводят к циклическим изменениям индуктивно-емкостных связей и, как следствие, к паразитной модуляции сигнала. Частота генератора будет изменяться в соответствии с формулой

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right). \quad (3.1.8)$$

Относительные перемещения электрорадиоэлементов и проводников вызывают изменения паразитных связей в электрических цепях. Колебания волноводов приводят к увеличению скорости затухания электромагнитного поля, а колебания вибратора в прямоугольном волноводе - к появлению паразитной амплитудно-фазовой модуляции.

Третья причина отказов заключается в том, что

напряжение в некотором элементе хотя бы один раз превзойдет допустимую величину к этот элемент либо разрушится, либо в нем возникнут остаточные деформации. В качестве примера можно назвать расслоение многослойных печатных плат, необратимые изменения параметров полупроводниковых приборов и др.

И, наконец, четвертая причина отказов состоит в том, что механические напряжения, недостаточные для разрушения или необратимого изменения параметров за один цикл колебаний, вызывают явления, приводящие к отказам, при длительном действии напряжения. Типичный пример — усталостные разрушения внешних выводов и траверс полупроводниковых приборов, микросхем, резисторов и других элементов. Переменные механические напряжения вызывают также изменения электрического сопротивления полупроводниковых материалов и магнитной проницаемости ферритов, что часто служит причиной недопустимого искажения электрических сигналов в радио технических устройствах.

Как видим, вибрации являются причиной большого количества неисправностей, что приводит к значительному увеличению интенсивности отказов РЭА.

2.3 Резонансные колебания элементов конструкций ЭА и способы их устранения

Дестабилизирующее действие вибраций значительно возрастает при возникновении резонансных колебаний элементов конструкций, т.е. когда частота собственных колебаний конструкции и частота возбуждения примерно совпадают. Амплитуды перемещения, скорости и ускорения при этом значительно увеличиваются и могут превышать в десятки раз амплитуды возмущающего колебания. Особенно опасны резонансные колебания электромонтажных плат, так как амплитуды колебаний могут значительно превзойти уровень, допустимый для ЭРЭ. В качестве примера на рисунке

3.3 (кривая 1) показана зависимость коэффициента усиления колебаний в центре круглой платы ракетного радиовзрывателя по отношению к закрепленным краям. Видно, что на частоте около 150 Гц амплитуда колебаний возрастает в 40 раз по отношению к амплитуде возмущающих колебаний. При амплитуде ускорения возмущающих колебаний всего в 10g на некоторые электрорадиоэлементы будут действовать перегрузки в 400 единиц, что приведет к быстрому их отказу.

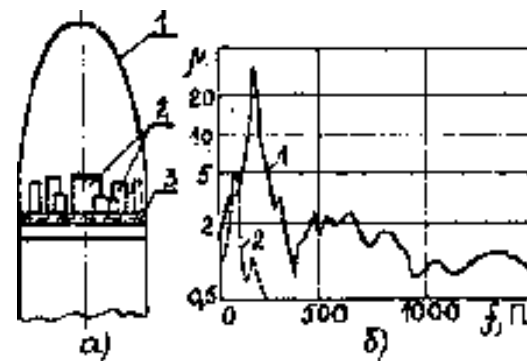


Рис. 3.8. Виброзащита электронных элементов:
 а — носовая часть ракеты; 1 — корпус ракеты;
 2 — электронные элементы;
 3 — плата; б — частотная характеристика платы;
 1 — однородная плата; 2 — плата с антирезонансными слоями

Существует несколько способов устранения резонансных колебаний плат РЭА. Широко распространен способ, заключающийся в смещении спектра собственных частот колебаний конструкции за верхнюю границу диапазона частот возмущающих вибраций (рисунок 3.4). Для полного устранения резонансных колебаний необходимо, чтобы первая собственная частота колебаний F_{01} была не менее чем на октаву выше максимальной частоты возмущающих колебаний $F_в$, т.е. необходимо выполнение условия $F_{01}/F_в \geq 2$.

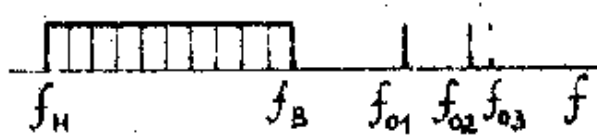


Рис. 3.9. Рекомендуемое соотношение спектров возмущающих и собственных колебаний

Практически этого стремятся достичь изменением способов крепления, постановкой дополнительных опор и ребер жесткости, увеличением толщины и уменьшением площади конструкции, т.е. в основном повышением жесткости. Если требуется значительно сместить спектр собственных частот в высокочастотную область, то это приводит к необходимости большого увеличения массы и габаритов, что делает этот способ малоприменимым, например для бортовой ракетной радиоаппаратуры, спектр частот вибрационных воздействий у которой достигает нескольких килогерц, а требования к массе и габаритам - жесткие. Поэтому узлы и блоки такой аппаратуры часто полностью заливаются легкими и жесткими пеноматериалами, что в определенной степени позволяет получить желаемый результат, но при этом значительно ухудшается тепловой режим и ремонтпригодность изделий. Способ, основанный на повышении жесткости, целесообразно применять, когда диапазон частот действующих вибраций не превышает 400-500 Гц или когда достаточно снизить резонансные колебания на некоторую, иногда не очень большую, величину. Это характерно для РЭА, у которой преобладают отказы усталостного характера.

Как видно из выражения

$$A = \frac{250n}{f^2}, \quad (3.1.9)$$

где A - амплитуда колебаний, мм; f - частота, Гц, небольшое повышение собственной частоты колебаний может

существенно уменьшить амплитуду колебаний.

Одним из путей решения проблемы снижения резонансных колебаний является улучшение демпфирующих свойств конструкций, т.е. повышение рассеяния энергии колебаний за счет сил трения. Этого можно достичь включением в конструкции плат специальных антивибрационных покрытий из так называемых вибропоглощающих (ВП) материалов, внутреннее трение которых в десятки и сотни раз больше, чем у конструкционных материалов, например стеклотекстолита. Большое преимущество этого способа в том, что резонансные колебания могут быть снижены в широком диапазоне частот при незначительном увеличении массы и габаритов конструкций. Эффективность этого способа показана на рис. 3.3. Применение платы, состоящей из трех слоев стеклопластика с зажатыми между ними тонкими слоями из Ni материала, снизило резонансные колебания в восемь раз.

2.4 Особенности физико-механических свойств полимеров

Эффективный способ уменьшения резонансных колебаний - включение в конструкции слоев из специальных вибропоглощающих (ВП) материалов, внутреннее трение которых в десятки и сотни раз может быть больше, чем у конструкционных материалов. В качестве ВП материалов могут применяться различные материалы с большим внутренним рассеиванием энергии механических колебаний, но наиболее перспективными с учетом всех факторов (технологических, эксплуатационных и др.) являются полимеры. Особенность полимеров резко выделяющая их из среды других материалов, - способность в зависимости от скорости приложения силы вести себя как жидкость или как твердое упругое тело, или же одновременно проявлять свойства того и другого.

Эта особенность определяется структурой полимеров,

состоящих из длинных цепных молекул участки которых, так называемые звенья, находятся в хаотическом тепловом движении. Приложение внешней силы приводит к некоторой ориентации звеньев в направлении внешней силы. Величина этой ориентации и, следовательно, деформация полимера зависят не только от величины силы, но и от её скорости. Ориентация звеньев связана с преодолением сил межмолекулярного взаимодействия, которые тем слабее, чем энергичнее тепловое движение, т.е. чем выше температура. Эти обстоятельства обуславливают резкую зависимость механических свойств полимеров от скорости (частоты) деформирования и температуры. На рисунке 3.5 приведены типичные зависимости динамического модуля упругости и коэффициента механических потерь полимеров от температуры и частоты колебаний. Можно выделить три зоны (кривые I) - высокоэластического, стеклообразного (или кристаллического) состояния и переходную зону. Каждый аморфный полимер, в зависимости от температуры и частоты колебаний, может находиться в одном из этих состояний (или вязкотекучем). Например, жесткие пластмассы при нормальных условиях - это полимеры в области стеклообразного или кристаллического состояния, а резины и другие каучукоподобные материалы-полимеры в области высокоэластического состояния. В качестве ВП материалов для антивибрационных слоев могут выбираться не любые полимеры, а только те, физико-механическое состояние которых соответствует переходной зоне, так как при этом полимер имеет максимальные демпфирующие свойства.

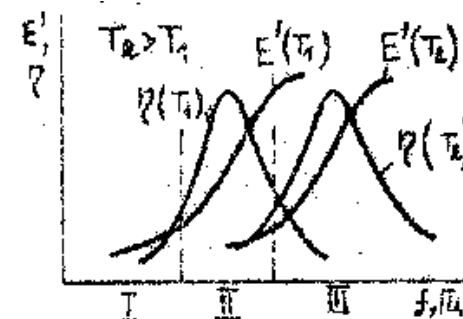


Рис. 3.10. Зависимость демпфирующих и упругих свойств полимеров от температуры и частоты:
 1 – Высокоэластическое состояние;
 2 – Переходная зона;
 3 – Стеклообразное состояние

Видно также, что и упругие и демпфирующие свойства полимеров в этой зоне резко изменяются в пределах $(10^5 - 10^9) \frac{H}{m^2}$, а коэффициент механических потерь – от 0,01 до 1÷2. При использовании полимеров в качестве ВП материалов необходимо также учитывать смещение переходной зоны по оси температур при изменении частоты колебаний (Рисунок 3.5, кривые 1 и 2).

Схемы конструкций с антивибрационными слоями

Конструкции с антивибрационными слоями можно разделить на две группы: конструкции с внешним ВП слоем и конструкции с внутренним ВП слоем рисунок 3.6.

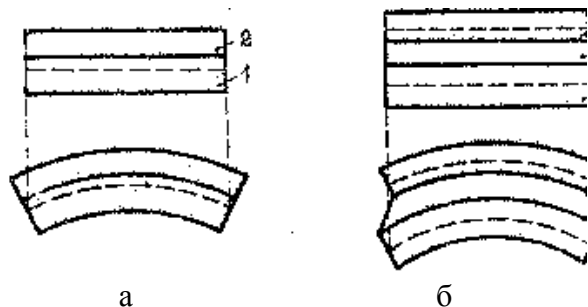


Рис. 3.11. Схемы вибропоглощающих конструкций:
1,3 – несущие слои;
2 – вибропоглощающий слой

Принципиальное их отличие – в типе деформации ВП слоя. В конструкциях с внешним ВП слоем основным типом деформации является растяжение – сжатие ВП слоя, а в конструкциях с внутренним ВП слоем сдвиг. Это обусловлено тем, что модуль упругости ВП материала на несколько порядков меньше модуля упругости материалов несущих слоев и происходит как бы проскальзывание между несущими слоями.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования конструкций того и другого типа показали, что при правильном выборе ВП материала применение слоев всего в несколько десятых долей миллиметра в конструкциях с внутренним ВП слоем позволяет уменьшить резонансные колебания в несколько раз. В конструкциях с внешним ВП слоем такого эффекта удастся добиться, когда толщина ВП слоя в 5 - 10 раз превышает толщину несущего слоя. Однако отсюда не следует делать вывод о неперспективности такого типа конструкций. Применение в качестве ВП материала легких пеноматериалов, наносимых на плату заливкой со стороны электрорадиоэлементов, позволяет добиться необходимого эффекта без существенного увеличения массы и габаритов. Преимуществом этих конструкций является их большая технологичность.

2.2 Модели вибропоглощающих материалов конструкций

Классическая теория упругости имеет дело с механическими свойствами идеально упругих тел, для которых в соответствии с законом Гука

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (3.2.1)$$

где E - модуль упругости материала, напряжение пропорционально деформации σ и не зависит от скорости.

Классическая гидродинамика описывает течение жидкостей, поведение которых при деформации определяется законом Ньютона

$$\sigma_{\tau} = b \frac{d\gamma}{dt}, \quad (3.2.2)$$

где b - коэффициент динамической вязкости, предполагающий пропорциональность между напряжением сдвига σ_{τ} и скоростью деформации $\frac{d\gamma}{dt}$.

В действительности не существует идеально упругих твердых тел и идеально вязких жидкостей, поведение которых абсолютно точно описывается указанными законами. Все реальные материалы в той или иной мере обладают как упругими, так и вязкими свойствами. Для упрощения решения практических задач часто прибегают к некоторой идеализации, т.е. если существенно преобладают упругие свойства, то тело считают "чисто" упругим, если вязкие - то "чисто" вязким. Материалы, у которых упругие и вязкие свойства соизмеримы получило название вязкоупругих. Свойства вязкоупругости наиболее ярко выражены у полимеров в переходной зоне, где коэффициент механических потерь η имеет наибольшую величину (рисунок 3.5).

Для описания вязкоупругих материалов применяется ряд моделей, из которых простейшие модели Максвелла и Фохта показаны на рисунке 3.7. Связь между напряжением и

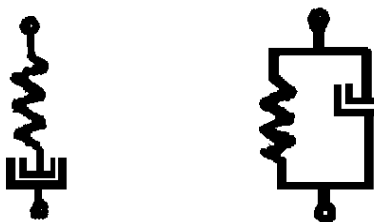
деформацией для этих моделей представляется в виде

$$\frac{d\sigma}{dt} = E_1 \frac{d\varepsilon}{dt} - \frac{\sigma E}{b}; \quad (3.2.3)$$

- для модели Максвелла

$$\sigma = E_1 + b \frac{d\varepsilon}{dt}; \quad (3.2.4)$$

- для модели Фохта



а б

Рис. 3.12. Модели вязкоупругих тел:
а – модель Максвелла; б - модель Фохта

Если напряжение изменяется по гармоническому закону, то у вязкоупругих тел наблюдается сдвиг фаз между напряжением и деформацией (рисунок 3.8).

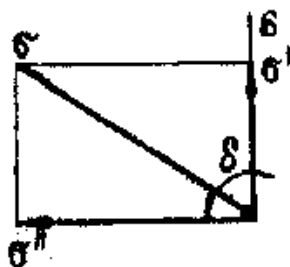


Рис. 3.13. Векторная диаграмма

На рис. 3.13 видно, что напряжение можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$\sigma = \sigma^{\perp} + i\sigma^{\parallel}. \quad (3.2.5)$$

Составляющая напряжения σ^{\perp} совпадает по направлению с деформацией и как известно из теории колебаний, связана с упругой энергией тела, вторая составляющая σ^{\parallel} , опережающая деформацию на 90° , связана с энергией, теряемой системой (энергией потерь). Пусть деформация описывается выражением

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{j\omega t}, \quad (3.2.6)$$

тогда для модели Фохта (3.2.4) получим

$$\sigma = E_1 \varepsilon + i b \omega \varepsilon, \quad (3.2.7)$$

и соответственно

$$\sigma' = E_1 \varepsilon; \quad \sigma^{\parallel} = b \omega \varepsilon. \quad (3.2.8)$$

Величины

$$E^{\perp} = E_1; \quad E^{\parallel} = b \omega, \quad (3.2.9)$$

получили название динамического модуля упругости E^{\perp} и модуля потерь E^{\parallel} . Из диаграммы и формул (3.2.7-3.2.9) получим

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{b \omega}{E_1} = \frac{E^{\parallel}}{E^{\perp}}. \quad (3.2.10)$$

Это выражение по форме совпадает с выражением для коэффициента потерь (формула 3.2.11) при $\omega = \omega_0$.

где ω_0 - собственная частота контура
 k - коэффициент жесткости.

Для модели Максвелла можно получить

$$E^{\perp} = \frac{E_1 \omega^2 b^2}{E_1^2 + b^2 \omega^2}; \quad E^{\parallel} = \frac{E_1 \omega b}{E_1^2 + b^2 \omega^2}; \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{E_1}{b \omega};$$

В общем случае ни одна из указанных моделей не описывает достаточно точно поведение вязкоупругих

материалов. Поэтому часто используют модель стандартного линейного тела, имевшего две разновидности, показанные на рисунке 3.9, но и они не описывают частотно-температурную зависимость свойств вязкоупругих тел. Наиболее точны модели, состоящие из набора, вязкоупругих пружин с различными константами вязкости и упругости. Использование кроме этого принципа суперпозиции Больцмана. Предполагающего, что действие каждой деформации не зависит от других, позволяет отразить и частотно-температурную зависимость вязкоупругих тел при различных видах нагружения. Анализ колебаний такого «больцмановского тела» приводит к сложной математической задаче, включающей решение интегро-дифференциального уравнения с частными производными.

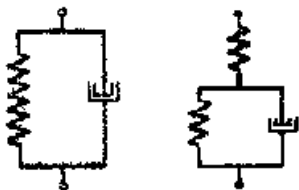


Рис. 3.14. Модели стандартного линейного тела

Использование модели Фохта в сочетании с частотно-температурными зависимостями параметров E' и η эквивалентно описанию конкретного вязкоупругого материала при помощи более сложной модели. Именно такой подход нашел в настоящее время широкое распространение на практике.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ ПЛАТ РЭА С АНТИРЕЗОНАНСНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Свойства вибропоглощающих материалов и способы их модификации

В качестве ВП материалов необходимо использовать полимеры, физико-механическое состояние, которое

соответствует области перехода от высокоэластического к стеклообразному состоянию. Динамический модуль упругости и коэффициент механических потерь полимера в переходной зоне могут изменяться на несколько порядков (см. рисунок 2.1). Кроме того, положение переходной и ее ширина на оси температур для полимеров различны и зависят от частоты колебаний.

С другой стороны, большинство типов РЭА, устанавливаемой на подвижных объектах, используются в диапазоне температур, который часто достаточно широкий, и воздействующая вибрация может иметь диапазон до нескольких килогерц. На рис.3.15 показан температуры диапазон эксплуатации некоторой ЭА (t_{min} , t_{max}) и свойства трех материалов в переходной зоне при минимальной и максимальной частотах

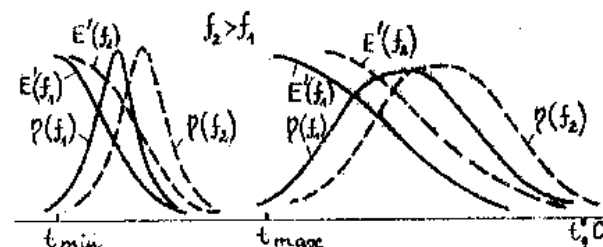


Рис. 3.15. Положение переходной зон для двух полимеров

Видно, что максимум коэффициента механических потерь у первого материала совпадает с температурным диапазоном эксплуатации, но быстро уменьшается, и на краях температурного диапазона такой материал уже не будет вибропоглощающим. Второй материал имеет значительно более широкую переходную зону, но она не совпадает с температурным диапазоном эксплуатации. Отсюда следует важный вывод: в качестве вибропоглощающих материалов могут использоваться полимеры, физико-механическое состояние которых в температурном диапазоне эксплуатации РЭА соответствует области перехода от высокоэластического к

стеклообразному состоянию, и эта область имеет достаточную ширину. Следовательно, для правильного выбора ВП материала радиоконструктор должен располагать зависимостями динамического модуля упругости и коэффициента механических потерь η от температуры, и частоты. В настоящее время ведутся специальные работы по разработке ВП материалов.

Рассмотрим факторы, которые влияют на свойства полимеров и могут быть положены в основу создания таких материалов.

Химическое строение

В качестве примера влияния химического строения на положение и ширину переходной зоны на оси частот на рис. 3.16 даны зависимости динамического модуля сдвига G' и коэффициента потерь η от частоты приведенные к 100°C , для трех полимеров и Н-алкиметакрилатов, эфирные группы которых соответственно содержат 2,4 и 12 атомов углерода. Как видно, с увеличением дайны боковых групп переходная область сдвигается в сторону высоких частот почти на шесть порядков по логарифмической шкале частот. Наблюдается также некоторое изменение ширины переходной зоны.

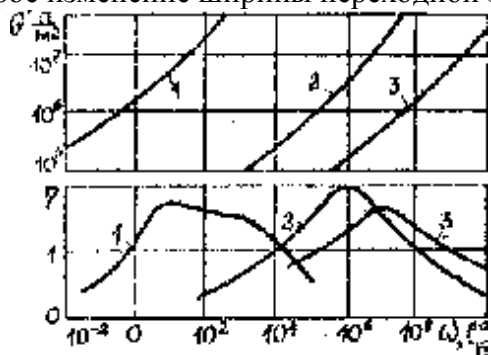


Рис. 3.16. Влияние химического строения полимера на переходную зону:
1-Этил; 2 – Гексил; 3 - Додецилиетакрилат

Сополимеризация

В качестве примера на рис.3.17 показаны зависимости E' и η от температуры для сополимера винилхлорида и 2-этилгексилакрилата при различных их весовых соотношениях. Видно, что при сополимеризации наблюдаются две сложные переходные зоны приводящие к расширению температурного диапазона, в котором наблюдаются значительные величины коэффициента потерь η . Этот способ позволяет также смещать переходную зону в другой температурный диапазон.

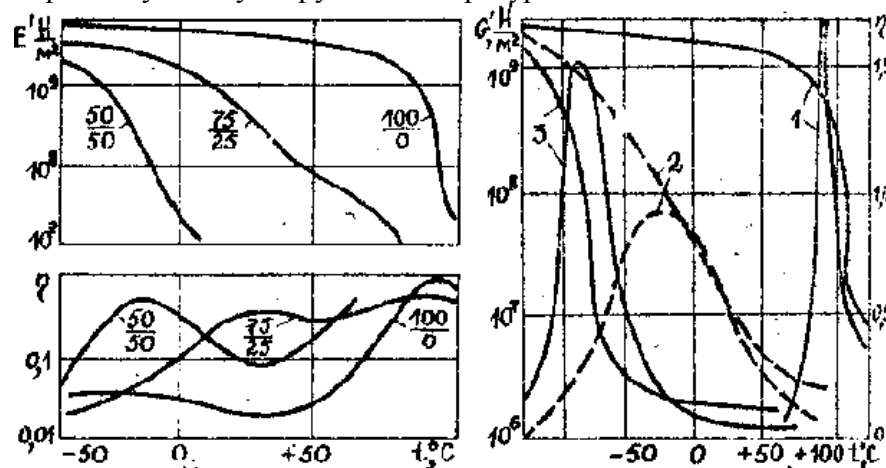


Рис. 3.17. Влияние сополимеризации на переходную зону

Рис. 3.18. Влияние пластификации на переходную зону.

Концентрация полимера:
– 100%; 2-60,7%; 3-40,8%

Пластификация

В отличие от сополимеризации пластификация не приводит к образованию химических связей между полимером и растворителем. Введение пластификатора снижает силы когезии между макромолекулами полимера, вследствие чего ослабляется межмолекулярное взаимодействие. Это эквивалентно уменьшению частоты или повышению

температуры. В качестве примера влияния пластификации на рис.3.18 показаны зависимости G' и η от температуры, измеряемые при частоте 2 Гц, для поливинилхлорида, пластифицированного диэтилсукцинатом. Как видно, пластификацией можно добиться значительного смещения и расширения переходной зоны.

Наполнение и вулканизация влияние твердых наполнителей и вулканизации показано на рис.3.19. Видно, что эти факторы также существенно влияют на механические, динамические свойства полимеров. Исследования физико-механических свойств полимеров показали, что на положение и ширину переходной зоны влияют также степень полимеризации и молекулярный вес. Характеристики некоторых вибропоглощающих полимеров, которые могут быть использованы при конструировании РЭА, приведены в табл. 7—9 приложения.

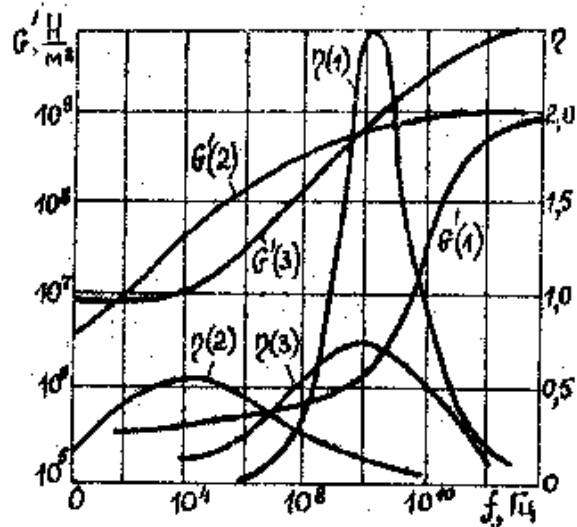


Рис.3.19 – Влияние наполнения и вулканизации на переходную зону:

- 1 – невулканизированная; 2 – вулканизированная;
- 3 – вулканизированная с наполнением

2.1 Оценка эффективности, вибропоглощающих конструкций

Из выше сказанного, очевидно, что коэффициент механических потерь конструкции будет значительно изменяться в температурном диапазоне эксплуатации изделия. В качестве примера на рисунке 3.6, показан контурный график зависимости коэффициента трехслойной конструкции от температуры и частоты. В качестве вибропоглощающего материала использован полиизобутилен, характеристики которого приведены в табл. 8.приложения.

Видно, что в интервале температур от -50 до +50°C демфирующие свойства изменяются примерно в двадцать раз. Аналогичные зависимости характерны и для других ВП конструкций и материалов. Возникает вопрос, какое значение коэффициента потерь принимать в качестве показателя эффективности ВП элементов конструкций радиосистем. Ответ на него будет различным в зависимости от последствий отказа.

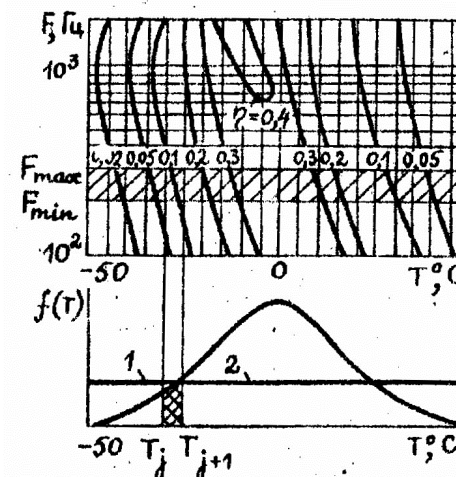


Рис. 3.20. Контурный график зависимости коэффициента потерь от температуры и частоты, плотность распределения температур:

- а – контурный график; б – плотность распределения;
- 1 – равномерный закон; 2 – нормальный закон

Если отказ системы недопустим, эффективность ВП покрытий целесообразно оценивать по минимально возможной в условиях эксплуатации системы величине коэффициента потерь η_{min} . При этом необходимо, чтобы η_{min} был не меньше значения, при котором резонансные колебания конструкции приводят к отказам и нестабильности сигналов системы. Невыполнение этого условия будет означать, что разрабатываемая конструкция заведомо не удовлетворяет требованиям технического задания.

Если в основу оценки системы положен общий экономический эффект от применения изделий данного типа, то ВП конструкцию целесообразно оценивать по среднему в условиях эксплуатации системы значению коэффициента потерь η_{cp} . Пусть, например, система работает в условиях, при которых $\eta < \eta_{cp}$. Это приведет к увеличению количества отказов по сравнению со средним значением, увеличению стоимости эксплуатации и снижению экономического эффекта, но эта же система или другие системы этого типа могут применяться и в более благоприятных условиях, когда $\eta > \eta_{cp}$, что обеспечит повышение экономического эффекта по сравнению со средней величиной. Пригодной следует считать такую конструкцию, у которой средний коэффициент потерь не меньше величины, при которой достигается положительный экономический эффект.

Остановимся на методике определения рекомендуемых показателей эффективности. Величина η_{min} может быть найдена непосредственно из контурного графика или же расчетом двух значений η при минимальной температуре и максимальной частоте, а также максимальной температуре и минимальной частоте и выбором наименьшего значения. При определении η_{cp} необходимо знать собственные частоты колебаний конструкции, а также вероятностное распределение температур в заданном интервале (рисунок 3.15,б). Каждая из собственных частот колебаний будет изменяться в некотором интервале, что обусловлено температурной зависимостью

модуля упругости ВП материала.

Будем считать, что наиболее опасны колебания на первой собственной частоте, которая лежит в интервале от f_{min} , до f_{max} (см. рисунок 3.15,а). Разобьем заштрихованную область на несколько подобластей и определим η_{cp} , используя формулу

$$\eta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i p(\eta_i)}{\sum_{i=1}^n P(\eta_i)},$$

где η_i — величина коэффициента потерь в i -м интервале, $P(\eta_i)$ — коэффициент веса, равный вероятности того, что $\eta = \eta_i$, и определяемый по формуле

$$P(\eta_i) = \int_{T_j}^{T_{j+1}} f(T) dT$$

или как площадь фигуры под кривой распределения на рассматриваемом интервале. Здесь T_j и T_{j+1} — температуры в начале и в конце температурного интервала. Величину η_i можно приближенно определять из контурного графика или рассчитывать для средней частоты и средней температуры каждого интервала.

Как видно, из рис 3.15,а. Собственная частота значительно меньше влияет на величину коэффициента потерь, чем температура. Поэтому если отказы могут вызываться не только первым, но и последующими резонансами, в качестве, f_{min} целесообразно принимать минимально возможное значение первой собственной частоты колебаний, а f_{max} — верхнюю границу диапазона собственных частот.

4 ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- а) наименование работы и ее цель;
- б) краткие сведения из теории;
- в) результаты выполнения заданий;
- г) выводы.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

- 1 Приведите общую характеристику вибрации.
- 2 Виды вибраций.
- 3 Эпюры вибраций.
- 4 Основные характеристики вибраций.
- 5 Квазирезонансная и широкополосная вибрация.
- 6 Чем характеризуется случайный процесс?
- 7 Составные элементы автокорреляционной функции?
- 8 Спектральная плотность случайного процесса?
- 9 Охарактеризуйте четыре причины отказов ЭС при действии вибрации.
- 10 Резонансные колебания элементов конструкции ЭС и способы их устранения.
- 11 Виды виброзащиты электронных элементов.
- 12 Приведите рекомендуемое соотношение спектров возмущающих и собственных колебаний.
- 13 Приведите способы снижения резонансных колебаний конструкции ЭС.
- 14 Расскажите о физико-механических свойствах полимеров.
- 15 Приведите графическую зависимость демпфирующих и упругих свойств полимеров от температуры и частоты.
- 16 Приведите схемы вибропоглощающих конструкций.
- 17 Приведите модели вибропоглощающих материалов конструкций.
- 18 Поясните особенности модели стандартного линейного тела.

19 Поясните особенности проектирования печатных плат ЭС с антирезонансными покрытиями.

20 Факторы влияющие на свойства полимеров (химическое строение): сополимеризация, пластификация.

21.Как влияют твердотельные наполнители на свойства полимеров.

22.Способ оценки эффективности вибропоглощающих конструкций.

23.Приведите графическую зависимость коэффициента потерь от температуры и частоты.

24.Приведите методику определения резонансных показателей эффективности вибропоглощающих конструкций.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
ИСПЫТАНИЕ ПРИБОРОВ И ЭС
НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ**

I ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Проектирование и создание современных ЭС практически невозможно без предварительной оценки ее на безотказность. Для оценки безотказности осуществляют электропрогон видеотелевизионной техники по ГОСТ 9021-78 с проверкой чувствительности канала изображения и звукового сопровождения, нелинейных накоплений, разрешающую способность по вертикали и горизонтали, нестабильность размеров изображения от изменения напряжения питания.

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен выполнить следующие виды деятельности:

1. Изучить функциональную нагрузку радиоаппаратуры во время электропрогона;
2. Провести планирование, обработку и анализ результатов испытаний аппаратуры по оценке средней наработки;
3. Провести планирование, обработку и анализ результатов испытаний по оценке коэффициента прочности;

4. Провести испытание аппаратуры на ремонтпригодность.

2 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1 Задание первое

Изучить особенности испытания ЭА на безотказность при электропрогоне.

Для выполнения домашнего задания следует ознакомиться с материалом /1, с.8 – 51,2/.

Испытания изделий опытной партии (образцов), установочных серий и серийного производства проводят для оценки соответствия показателей безотказности аппаратуры (средней наработки на отказ T_o или коэффициента прочности K_n) требованиям ТЗ или ТУ.

Оценку коэффициента прочности при испытаниях на безотказность проводят до электропрогона аппаратуры по результатам испытаний изделий на прочность при транспортировании (виброустойчивость, прочность при падении).

Оценку средней наработки на отказ проводят по результатам электропрогона.

Планирование испытаний аппаратуры на безотказность и оценку результатов испытаний проводят в соответствии с установленными в ТЗ или ТУ:

- значением средней наработки на отказ изделия T_o ;
- значением коэффициента прочности изделия K_n .

При проведении испытаний аппаратуры по оценке средней наработки на отказ принимают риск изготовителя α равным риску потребителя β и устанавливают их значения равными 10 % (0,1).

Допускается по согласованию с Госприемкой для изделий опытных партий (образцов) и установочных серий принимать значения α и β , равными 20 % (0,2).

При проведении испытаний аппаратуры по оценке

коэффициента прочности K_n принимают доверительную вероятность P оценки этого показателя равной 0,9.

Допускается по согласованию с Госприемкой для изделий опытных партий (образцов) и установочных серий применять значение P равное 0,8.

Испытания на безотказность аппаратуры по оценке средней наработки на отказ проводят по статистическому плану «усеченных последовательных испытаний».

Испытания на безотказность аппаратуры по оценке коэффициента прочности K_n проводят по методу определения среднего арифметического значения K_n и его нижней K_{nn} доверительной границы при доверительной вероятности P , равной 0,9.

Объемы выборок изделий при испытаниях на безотказность устанавливают в соответствии с принятым планом испытаний.

Электропрогон аппаратуры при испытаниях на безотказность проводят путем повторения циклов испытаний определенной длительности в соответствии с циклограммами, установленными в ТУ или ТЗ на аппаратуру, и периодическим контролем результатов испытаний.

Испытательный цикл определяет последовательность и комбинацию режима работы аппаратуры при воздействия механических и климатических внешних факторов (ВВФ). Испытания при электропрогоне рекомендуется проводить при одновременном воздействии ВВФ.

В соответствии с результатами исследований с целью ограничения влияния длительности электропрогона на риски потребителя и изготовителя продолжительность испытаний изделий во время электропрогона (наработка t_n каждого изделия) выбирают в интервале $[t_{n \text{ мин}}, t_{n \text{ макс}}]$, установленном в ТУ или ТЗ.

Значение $t_{n \text{ макс}}$ не должно превышать 0,2 T_o .

Значения $t_{n \text{ мин}}$ составляют:

500 ч — для магнитофонов, диктофонов и

видеомагнитофонов (магнитофоны);

750 ч — для радиоприемной, звуковоспроизводящей, звукоусилительной и акустической аппаратуры (радиоаппаратура);

750 ч — для телевизионных приемников (телевизоры).

При проведении испытаний на безотказность по оценке T_o суммируются учитываемые значения наработки всех изделий и число учитываемых отказов.

Суммарные значения учитываемых длительности испытаний и числа отказов сравнивают с условиями приемки и бракования изделий.

Время наработки аппаратуры в пределах цикла испытаний, в котором обнаружен отказ, исключают из общего времени наработки.

Результаты испытаний аппаратуры на безотказность считают положительными при одновременном выполнении условий приемки по показателям K_n и T_o .

Испытания аппаратуры на безотказность проводят в последовательности:

- 1) испытания на прочность при транспортировании, на виброустойчивость (для III и IV групп аппаратуры) и прочность при падении (для III группы аппаратуры);
- 2) внешний осмотр, проверка работы органов управления, измерение параметров аппаратуры;
- 3) оценка коэффициента прочности;
- 4) электропрогон (с измерением параметров аппаратуры);
- 5) оценка средней наработки на отказ и оформление результатов испытаний.

Испытание аппаратуры на прочность при транспортировании, виброустойчивость и прочность при падении проводят в режимах, указанных в табл. 1.

После каждых 7 ч электропрогона аппаратуру выключают не менее чем на 1 ч.

Для изделий, время непрерывной работы которых менее чем 7 ч, цикл испытаний устанавливают равным предельному времени непрерывной работы, установленному и ТЗ (ТУ).

Электропрогон аппаратуры необходимо проводить при включенном звуке, регулятор громкости при этом должен находиться в среднем положении.

Рабочая функциональная нагрузка телевизоров во время электропрогона

Электропрогон телевизоров черно-белого изображения следует проводить при изображении подвижного и неподвижного сюжетов с яркостью и контрастностью, необходимыми для определения исправного состояния телевизора.

Один и тот же сюжет неподвижного изображения допускается подавать на экран телевизора суммарно, не более 6 ч в сутки.

Ручками управления, предназначенными для потребителей, должно быть установлено устойчивое изображение.

Электропрогон телевизоров с двумя режимами подстройки частоты гетеродина (ручной и автоматической) следует проводить в режиме автоматической подстройки гетеродина.

Электропрогон телевизоров необходимо проводить при обязательно включенном звуке, регулятор громкости должен находиться при этом в среднем положении.

Электропрогон телевизоров цветного изображения следует просадить при подаче на вход телевизоров испытательного сигнала цветного изображения.

В течение 7-часового цикла электропрогона на телевизоры необходимо подавать следующие напряжения питания в указанной последовательности:

- 1) номинальное — в течение первых 3 ч 20 мин работы;
- 2) минимально допустимое по ТЗ (ТУ) — в течение 1 ч 10 мин;

3) максимально допустимое по ТЗ (ТУ) — в течение 2 ч.

После 3 ч 20 мин и 4 ч -15 мин электропрогона телевизоры выключают на 15 мин. После каждых 7 ч электропрогона телевизоры выключают не менее чем на 1 ч.

Допускается изменение длительности электропрогона в пределах ± 10 мни при различных напряжениях питания телевизоров при сохранении суммарной длительности, цикла электропрогона равной 7 ч.

Во время электропрогона необходимо проверять визуально качество изображения на экране телевизора, устойчивость синхронизации и на слух качество звучания, а также работу органов управления.

В процессе электропрогона перед каждым включением телевизора необходимо переключать его на прием других телевизионных каналов. В телевизорах с двумя режимами подстройки, частоты гетеродина исправное состояние телевизоров необходимо проверять как при автоматической, так и при ручной подстройке частоты гетеродина. Качество звучания следует проверять на слух при различных (в том числе и максимальном) уровнях громкости (по ТУ).

Периодичность дополнительной проверки телевизоров, обеспечивающих повышенные технические требования, не предусмотренные ГОСТ 18198-85, следует указывать в ТЗ (ТУ) на телевизор конкретной модели.

В телевизорах цветного изображения в процессе электропрогона необходимо проверять автоматическое выключение канала цветности. Проверку следует проводить по методу, приведенному в ТУ на телевизоры.

По окончании электропрогона во всех испытываемых телевизорах проверяют по ГОСТ 9021—78 или нормативной документации следующие параметры:

1) чувствительность канала изображения, ограниченную синхронизацией, на одном канале в диапазоне метровых волн и одном канале в диапазоне дециметровых волн

(в телевизорах с селекторами каналов (СК) дециметровых волн и всеволновыми СК);

2) чувствительность канала звукового сопровождения, ограниченную шумами, на одном канале в диапазоне метровых волн и одном канале в диапазоне дециметровых волн (в телевизорах с СК дециметровых волн и всеволновыми СК);

3) нелинейные искажения раstra по вертикали и горизонтали;

4) нестабильность размеров изображения от изменения напряжения питания;

5) разрешающую способность по вертикали и горизонтали.

Для телевизоров цветного изображения, кроме указанных, проверяют по ГОСТ 24331—80 или нормативно-технической документации следующие параметры:

1) неоднородность цветности и свечения по полю экрана на основных цветах и опорном белом;

2) погрешность сведения лучей;

3) отклонение цветности белого цвета свечения экрана от цветности опорного белого при статическом балансе и динамическом балансе;

4) автоматическое выключение канала цветности при приеме передач черно-белого изображения;

5) сохранение устойчивости цветовой синхронизации.

Допускается дополнительно проводить измерения других параметров телевизоров черно-белого и цветного изображения по ГОСТ 18198—85.

В телевизорах опытной партии и установочной серии необходимо проверять параметры дополнительно через 150 ч и 400 ч электропрогона, а также через 750 ч при длительности электропрогона, превышающей 750 ч.

Если во время электропрогона наблюдается ухудшение качества изображения телевизора по сравнению с другими

испытываемыми телевизорами, то соответствие телевизора требованиям ТЗ (ТУ) должно быть проверено измерением соответствующих параметров.

Электропрогон отказавшего телевизора продолжают после установления причины отказа, восстановления работоспособного состояния телевизора и проверки электрического и, в случае необходимости, теплового режимов элементов, установленных в телевизоре, в процессе восстановления работоспособного состояния.

Время наработки аппаратуры в пределах цикла испытаний, на котором обнаружен отказ, исключается из общего времени наработки. Цикл испытаний повторяют.

Рабочая функциональная нагрузка радиоаппаратуры во время электропрогона

Электропрогон радиоаппаратуры проводится в режиме приема радиовещательной программы.

Электропрогон усилителей звуковой частоты (УЗЧ) проводится в режиме усиления номинального входного сигнала от любого источника.

Электропрогон электрофонов и электропроигрывателей (ЭПУ) проводится в режиме воспроизведения звукозаписи по ГОСТ 18631—83.

Электропрогон комбинированных видов аппаратуры проводится в режимах работы от каждого источника сигнала следующим образом:

1) для радиоприемных устройств, имеющих в составе только тракты АМ и ЧМ: 50 % времени по тракту АМ, 50 % — по тракту ЧМ;

2) для радиоприемных устройств, имеющих в составе ЭПУ и магнитофонную панель (МП): 30 % времени в режиме радиоприема, 35 % — в режиме работы от ЭПУ, 35 % — в режиме работы МП;

3) для радиоприемных устройств, имеющих в составе ЭПУ или МП;

4) 30 % времени — в режиме радиоприема, 70 % — в режиме работы от ЭПУ или МП;

5) для комбинированных электрофонов: 50 % времени в режиме работы от ЭПУ; 50 % - в режиме работы от МП.

Режим работы МП состоит из последовательности записи, воспроизведения и перемотки ленты в течение соответственно 45 %, 45 % и 10 % времени работы МП. Для многоскоростных МП время работы записи и воспроизведения делят равномерно для каждой скорости. Электропрогон аппаратуры, включающей УЗЧ, проводят в режиме работы от источника реальной музыкальной программы.

При этом регуляторы тембра устанавливают в положение, соответствующее плоской АЧХ, регуляторы громкости — в положение, при котором в громкоговорителе рассеивается средняя мощность, равная 1/8 номинальной выходной мощности одного канала УЗЧ.

Среднюю выходную мощность определяют на зажимах для подключения громкоговорителей с применением вольтметра средних квадратических значений (СКЗ) напряжения, имеющего постоянную времени усреднения не менее 30 мс, или с применением измерителя мощности.

Допускается заменять громкоговоритель электрическим эквивалентом, имитирующим его комплексное электрическое сопротивление.

При наличии в аппаратуре выхода для подключения различных типов громкоговорителей в качестве нагрузки используют эквивалент, выполненный по схеме рис. 4.1

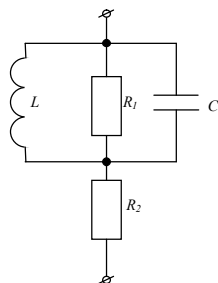


Рис. 4.1. Эквивалент для громкоговорителя с параметрами, приведенными в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Эквивалент для нагрузки

| Номинальное сопротивление нагрузки, Ом | R_1 , Ом | R_2 , Ом | L , мГ | C , мкФ |
|--|------------|------------|----------|-----------|
| 4 | 11,5 | 3,4 | 6,25 | 1600 |
| 8 | 23 | 6,8 | 12,5 | 800 |

В начале и в конце каждого 7-часового цикла электропрогона следует проводить не менее 5 раз проверку работоспособности всех органов управления и кинематических узлов.

При наличии автоматизированных стендов: проводят проверку работоспособности органов управления и кинематических узлов не менее 1000 раз в непрерывном режиме.

В течение каждого 7-часового цикла электропрогона следует проводить проверку работы каждого изделия при различных уровнях громкости.

Если при этом будет замечено ухудшение качества работы аппаратуры (уменьшение усиления, шум или искажение сигнала) по сравнению с другими образцами

аппаратуры, то соответствие этого изделия требованиям технической документации должно быть проверено измерением соответствующих параметров.

Электропрогон отказавшей аппаратуры может быть продолжен после установления причины неисправности или отказа и ремонта изделия.

Рабочая функциональная нагрузка магнитофоном, диктофоном и видеомагнитофоном (магнитофоном)

Испытания на безотказность магнитофонов проводят по программе 10 τ -часовых испытательных циклов ($\tau = 0,1 t_{и}$).

Полный цикл испытаний должен предусматривать:

1) наработку при напряжениях питания магнитофонов; максимальном, номинальном и минимальном;

2) наработку в контролируемых, функциональных режимах (воспроизведение — не менее 50 % цикла, запись — не менее 25 % цикла, остальные режимы — не более 25 %);

3) наработку на контролируемых значениях скорости движения магнитной ленты (на обязательной скорости — не менее 75 % времени цикла, на необязательных значениях скорости — не более 25 % времени цикла);

4) контроль работоспособности магнитофонов;

5) проведение работ по техническому обслуживанию.

6) При электропрогоне односкоростных и кассетных магнитофонов в течение цикла испытаний периодически проводят:

7) запись на одну сторону ленты (кассеты);

8) перемотку ленты (кассеты) в начало;

9) воспроизведение всей ленты (кассеты);

10) перемотку ленты (кассеты) в начало;

11) воспроизведение на одной стороне ленты (кассеты);

12) перевертывание ленты (кассеты) на другую сторону;

13) манипуляцию настоящего подпункта, перечисленную выше;

14) перемотку до конца ленты (кассеты) и обратно.

Если магнитофон имеет несколько входов, то при каждой последующей записи используется другой вход таким образом, чтобы постепенно были использованы все входы.

При записи устанавливается оптимальный уровень записи в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя (если он не устанавливается автоматически). При каждой записи необходимо использовать кнопку «стоп» (если она имеется).

При воспроизведении регулятор громкости устанавливают на 1/8 номинальной выходной мощности (по вольтметру СКЗ напряжения, имеющему постоянную времени усреднения не менее 30 мс, или по измерителю мощности).

Остальные элементы управления (регулятор тембра, стереобаланс и др.) устанавливают в среднее положение.

Пять раз в каждом цикле вес внешние элементы управления переставляют в оба крайних положения и проверяют функционирование аппаратуры при всех видах работы.

Для двухскоростных магнитофонов циклически повторяют электропрогон в течение 2-циклов при скорости 9,53 см/с и 1 цикла при другой скорости.

Для трехскоростных магнитофонов циклически повторяют электропрогон в течение:

2 циклов - при скорости 9,5 см/с;

1 цикла - при второй скорости;

1 цикла— при третьей скорости.

2.2 Задание второе. Изучить особенности планирования, обработки и анализа результатов испытаний аппаратуры по оценке средней наработки

Испытания аппаратуры по оценке средней наработки на отказ T_o проводят по плану усеченных последовательных

испытаний.

Исходными данными для проведения испытаний являются:

- 1) риск изготовителя α , равный 10 % (0,1)
- 2) риск потребителя β , равный 10 % (0,1);
- 3) длительность испытания t_n изделия (наработка в течение электропрогона);
- 4) установленное в ТЗ или ТУ значение средней наработки на отказ T_o .

При этом интервал $[T_{o\beta}, T_{o\alpha}]$, где $T_{o\beta}$, $T_{o\alpha}$ - браковочное и приемочное значения показателя T_o , относительно T_o располагается симметрично с тем. Чтобы обеспечить равенство ущерба потребителя от приемки ненадежных изделий, и изготовителя — от забракования надежных.

2.3 Задание третье. Особенности планирования, обработки и анализа результатов испытаний аппаратуры коэффициента прочности

Испытания аппаратуры по оценке коэффициента прочности K_n проводят методом определения среднеарифметического значения с доверительной вероятностью P .

Исходными данными для проведения испытаний по оценке K_n являются:

1) доверительная вероятность $P = 0,9$ (допускается для опытных партий (образцов) установочных серий по согласованию с Госприемкой $P = 0,8$) при одностороннем нижнем ограничении показателя K_n ;

2) установленное в ТУ или ТЗ значение K_n ;

3) точность оценки значения K_n (δ_n), устанавливаемое в ТУ (ТЗ).

Результатом испытаний является точечная оценка K_n значения K_n .

Экспериментальное значение коэффициента прочности K_n определяется по формуле:

$$\widehat{K}_n = \frac{n}{N}, \quad (4.6)$$

где n — число всех учитываемых отказов аппаратуры при испытаниях на прочность при транспортировании (виброустойчивость, прочность при падении); N — число испытываемых изделий.

Для обеспечения требуемой достоверности $P = 0,9$ и необходимой точности оценки результатов испытаний минимальное число испытываемых изделий должно быть не менее (кроме испытаний на прочность при падении):

108 при точности δ_n оценки K_n не выше 20 % ($\delta_n = 0,2$);

59 при точности δ_n оценки K_n не выше 30 % ($\delta_n = 0,3$);

50 при точности δ_n оценки K_n не выше 34 % ($\delta_n = 0,34$).

Соответственно для вероятности $P = 0,8$ минимальное число испытываемых изделий должно быть не менее:

50 при точности δ_n оценки K_n не выше 20 % ($\delta_n = 0,2$);

28 при точности δ_n оценки K_n не выше 30 % ($\delta_n = 0,3$);

24 при точности δ_n оценки K_n не выше 34 % ($\delta_n = 0,34$).

Результаты испытаний считают положительными по K_n , если выполняется условие:

$$\widehat{K}_n > K_n. \quad (4.7)$$

в этом случае обеспечивается нижнее граничное условие для

$$(1 - \delta_n) \cdot \widehat{K}_n \leq K_n. \quad (4.8)$$

2.4 Задание четвертое. Особенности испытаний аппаратуры на ремонтпригодность

Испытания на ремонтпригодность проводят для оценки соответствия аппаратуры требованиям, предъявляемым к среднему времени восстановления T_v работоспособного состояния аппаратуры опытных партий (образцов).

Испытания на ремонтпригодность допускается проводить на тех же образцах, на которых проводят испытания на безотказность. При оценке результатов испытаний

допускается учитывать отказы, выявленные при проведении испытаний на безотказность.

При недостаточном числе отказов при испытаниях допускается для обеспечения требуемой степени достоверности $p = 0,9$ искусственное введение (моделирование) отказов и повреждений в аппаратуру. Перечень отказов и повреждений, учитываемых при оценке T_v , приводят в методике испытаний.

Виды отказов при моделировании необходимо выбирать в соответствии с наиболее характерными отказами аналогичной аппаратуры и результатами испытаний.

При проведении испытаний на ремонтпригодность должны быть соблюдены следующие условия:

1) при проведении ремонта необходимо пользоваться оборудованием и оснасткой, предусмотренными в инструкциях по эксплуатации и ремонту;

2) до начала ремонта сведения о месте и виде отказа не должны доводиться до работников, выполняющих ремонт.

Обнаружение отказа, установление причины его возникновения, проверку работоспособности аппаратуры после ремонта проводят в соответствии с эксплуатационной и ремонтной документацией.

При проведении испытаний на ремонтпригодность учитывают время, затраченное на обнаружение и устранение отказов аппаратуры и проверку ее исправленного состояния.

Время простоя по организационным причинам (поиск, доставка запасных частей, материалов, инструмента и т.д.) при оценке показателя ремонтпригодности не учитывают.

Планирование испытаний и оценка результатов проводятся методом среднеарифметической оценки, среднего времени восстановления аппаратуры с доверительной вероятностью P .

Исходными данными испытаний на ремонтпригодность являются:

1) доверительная вероятность $P = 0,9$ при одностороннем верхнем ограничении среднего времени восстановления (допускается по согласованию с Госприемкой для образцов опытных партий и установочных серий $P = 0,8$);

2) установленное в ТЗ значение среднего времени восстановления работоспособного состояния $T_в$;

3) точность оценки значения $\delta_в$, среднего времени восстановления, установленная в ТУ (ТЗ).

Результатом испытаний аппаратуры ремонтпригодность является точечная оценка среднего времени восстановления $\hat{T}_в$.

Экспериментальное значение среднего времени восстановления работоспособного состояния аппаратуры определяется по формуле:

$$\hat{T}_в = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{вi}, \quad (4.9)$$

где $t_{вi}$ — время восстановления аппаратуры при i -м отказе;

n — число отказов;

N — число испытываемых образцов.

Для обеспечения требуемой достоверности $P = 0,9$ и необходимой точности оценки результатов испытаний минимальное число учитываемых отказов аппаратуры должно быть не менее:

58 при точности δ_n оценки $T_в$ не выше 20 % ($\delta_n = 0,2$);

30 при точности δ_n оценки $T_в$ не выше 30 % ($\delta_n = 0,3$).

Соответственно при доверительной вероятности $P = 0,8$ минимальное число учитываемых отказов n аппаратуры должно быть не менее:

26 при точности δ_n оценки $T_в$ не выше 20 % ($\delta_n = 0,2$);

14 при точности δ_n оценки $T_в$ не выше 30 % ($\delta_n = 0,3$).

Результаты испытаний аппаратуры на ремонтпригодность считают положительными, если в результате испытаний аппаратуры на ремонтоспособность экспериментальное значение среднего времени восстановления

работоспособного состояния $\hat{T}_в$ аппаратуры меньше установленного значения $T_в$, т.е.

$$\hat{T}_в > T_в, \quad (4.10)$$

в этом случае обеспечивается верхнее граничное условие для $T_в$:

$$T_в \leq (1 + \delta_n) \cdot \hat{T}_в. \quad (4.11)$$

3 ИСПЫТАНИЕ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ ЭА ПО ОЦЕНКЕ СРЕДНЕЙ НАРАБОТКИ

В соответствии с вариантом (№ варианта получить у преподавателя) провести испытания аппаратуры по оценке средней наработки. Заполнить таблицу исходных данных, необходимых для проведения испытаний.

4 ИСПЫТАНИЯ ЭА НА РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

Испытания на ремонтпригодность допускается проводить на тех же образцах, на которых проводят испытания на безотказность.

Планирование испытаний и оценка результатов проводятся методом среднеарифметической оценки, среднего времени восстановления аппаратуры с доверительной вероятностью $p = 0,9$.

5 ОТЧЕТ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отчет по индивидуальной работе должен содержать:

- а) наименование работы и ее цель;
- б) краткие сведения из теории;
- в) результаты выполнения заданий;
- г) выводы.

Контрольные вопросы к индивидуальной работе

1 Для чего осуществляют электропрогон?

2 Особенности электропрогона для телевизоров черно-

белого изображения?

3 Особенности электропрогона для телевизоров цветного изображения?

4 Что необходимо проверять во время электропрогона на экране телевизора?

5 Какие параметры на испытываемых черно-белых телевизорах проверяют после электропрогона?

6 Какие параметры на испытываемых цветных телевизорах проверяют после электропрогона?

7 Предлагают ли электропрогон отказавшего в работе телевизора?

8 В чем особенности электропрогона для электрофонов и электропроигрывателей?

9 В чем особенности электропрогона для усилителей звуковой частоты?

10 Приведите электрическую схему эквивалента громкоговорителя.

11 Приведите особенности испытаний при электропрогоне магнитофонов.

12 Приведите формулу определяющую объем выборки при оценке средней наработки на отказ.

13 Приведите необходимые условия, которые должны быть соблюдены при проведении испытаний на ремонтпригодность.

14 Приведите экспериментальное значение среднего времени восстановления работоспособного состояния аппаратуры.

ГЛОССАРИЙ

1. Контроль - процесс установления соответствия между состоянием объекта и заданной нормой путем восприятия и оценки информации.

2. Испытания - процесс определения параметров РЭА по установленной методике с целью оценки их соответствия требованиям.

3. Виды контроля:

– по способу контроля;

– по отношению к производственному процессу;

– по способу определения степени пригодности изделия к использованию;

– по степени охвата;

– по характеру воздействия контроля на производственный процесс;

– по периодичности контроля;

– по степени участия человека в контроле.

4. Основные функции ОТК: контроль процесса производства и его подготовка.

5. Операции контроля в процессе производства:

– выходной контроль;

– контроль за соблюдением технологического процесса;

– анализ брака и дефектов;

– техническая приемка и испытания изделий.

6. Способы контроля:

– визуальный;

– геометрический;

– механический;

– электрический;

– физико-химический;

– технологический;

7. Факторы, учитываемые при выборе средств контроля:

- цели контроля;
- виды производства;
- назначение контролируемого устройства и степень его сложности;
- требуемая надежность РЭА;
- место проведения контроля;
- допустимая длительность действия средств контроля;
- допустимая погрешность и поля допуска параметров;
- условия эксплуатации средств контроля;
- квалификация контролеров и безотказность их работы.

8. Разброс параметров - разность между медианой и значением измеряемого параметра выборки.

9. Цель испытаний - определение работоспособности РЭА при воздействии внешних факторов.

10. Виды испытаний на влагоустойчивость: при длительном и кратковременном воздействии повышенной влажности.

11. В зависимости от условий эксплуатации изделия подвергаются циклическим ил непрерывным испытаниям с выпадением росы или без этого.

12. Способы создания условий для выпадения росы:

- ежесуточное включение источников нагрева и влаги на определенное время (6-8 часов);
- периодическое (суточное) понижение температуры на 5-10 градусов.

13. При длительных испытаниях на влагоустойчивость время выдержки составляет 24 часа, при кратковременных - 1-2 часа.

14. Проблемы при испытаниях на влагоустойчивость, с которыми сталкиваются специалисты:

- интенсивность отказов очень велика;

– результаты испытаний имеют переменный характер и не поддаются прогнозированию;

– попытки корреляции результатов, полученных в естественных условиях, с результатами испытаний в различных других условиях, не имеют успеха.

15. Степень гигроскопичности материала - основные параметры, характеризующие влажность.

16. Активная сорбция - явление, когда влага проникает в структуру вещества по межмолекулярным каналам.

17. Неактивная сорбция - молекулы воды поглощаются поверхностью через капилляры и поры.

18. Способы защиты ЭА от действия влажного воздуха бывают активными и пассивными.

19. Пассивная защита ЭА от действия влажного воздуха - создание барьера, либо полностью изолирующего ее от влажного воздуха, либо замедляющего проникновение влаги к защищаемому узлу.

20. Все методы испытаний делят на две большие группы:

- Физические испытания реальных ЭА или ее макетов;

- Испытания, осуществляемые моделированием.

21. Лабораторные испытания проводят 3 способами:

- последовательным;
- параллельным;
- комбинированным.

22. Испытания на этапе производства подразделяют на:

- приемо-сдаточные;
- периодические;
- проверочные.

23. Методика испытаний - основной документ, определяющий последовательность работ при испытаниях.

24. Цель климатических испытаний – проверка работоспособности ЭА при внешних климатических воздействиях.

25. Термостойкость – способность конструкции из полимера сохранять свои геометрические размеры.

26. Эжекторные насосы – насосы, служащие для создания разрежения за счет захвата молекул струей газа или пара.

27. Парамасляные насосы – насосы, осуществляющие захват и удержание молекул воздуха парами масла.

28. Гетерные насосы (сорбционные). При сорбционной откачке используются эффекты физической и химической адсорбции, а также химической реакции на поверхности.

29. Криогенные насосы – насосы, в которых работа основана на конденсации паров и перевода жидкой фазы в твердую.

30. Давлением жидкости или газа называют силу, действующую на площадь; за единицу давления принимают единицу силы, действующей равномерно на единицу площади.

31. При измерении различают: атмосферное, избыточное, вакуумметрическое и абсолютное давления.

32. Атмосферное (барометрическое) давление – давление, создаваемое массой воздушного столба земной атмосферы.

33. Избыточное давление – давление, выражающее превышение давления среды над атмосферным давлением.

34. Вакуумметрическое давление – давление среды, характеризующее давление (вакуум), недостающее до атмосферного.

35. Жидкостные манометры – приборы, в которых величиной, характеризующей измеряемое давление, служит высота столба уравнивающей жидкости в стеклянной измерительной трубке. В качестве уравнивающей

жидкости используются ртуть, дистиллированная вода, этиловый спирт.

36. Деформационные манометры – приборы, принцип действия которых основан на использовании деформации упругого чувствительного элемента, возникающей под влиянием измеряемого давления.

37. Ионизационные вакуумметры с накаливаемым катодом – вакуумметры, работа которых основана на ионизации молекул остаточных газов, летящих от катода, а мерой давления является ионный ток, измеренный при постоянной эмиссии катода.

38. Течеискатели – приборы, в которых натекание характеризуется потоком газа Q и определяется по изменению давления ΔP в замкнутой системе объемом V за промежуток времени Δt : $Q = (\Delta P V / \Delta t) /$

39. Основные методы определения течей: массоспектрометрический, галоидный, манометрический, газоаналитический, метод палладиевого барьера, искровой.

40. Вибрационные нагрузки – нагрузки, которым подвергается ЭА вследствие различных механических воздействий, которые могут возникать при транспортировке, при работе различных механизмов, в случае установки РЭА на самолеты, корабли, автомобили и т.д.

41. Уменьшение вибрации можно достигнуть:

- путем установки между вибрирующим объектом и его основанием упругих прокладок;

- применением различного типа амортизаторов;

- изготовлением ряда деталей из пластмассы.

42. Ударные нагрузки – нагрузки, связанные с резким и быстрым изменением ускорения, скорости или направления перемещения объекта, на котором установлена аппаратура.

43. Воздействие звукового давления на РЭА – воздействие связанное, с выделением энергии колебаний

звуковой частоты среды и приводящие к изменению давления по сравнению с атмосферным (статическим) давлением.

44. Звуковое давление – разность между статическим давлением и давлением в данной точке звукового поля.

45. Порог слышимости – минимально допустимое эффективное звуковое давление, при котором имеет место слуховое восприятие. Стандартному порогу слышимости соответствует эффективное звуковое давление $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м² при гармоническом звуковом колебании с частотой 1000 Гц.

46. Болевой порог слышимости – звуковое давление, при котором возникает болевое ощущение; он соответствует эффективному звуковому давлению 20 Н/м² при частоте 1000 Гц.

47. Основная цель вибрационных испытаний – установление способности изделия противостоять влиянию механических воздействий, а также определение их способности выполнять свои функции при сохранении электрических параметров в пределах установленных норм.

48. Два основных метода проведения испытаний на воздействие одночастотного синусоидального колебания:

- метод фиксированных частот;
- метод качающейся частоты

49. Испытания на воздействие одиночных ударов могут производиться с помощью трех основных типов оборудования:

- устройств с вертикальным сбрасыванием по направляющим;
- устройств со свободным падением; устройств маятникового типа.

50. Испытания на пылезащитность – это выявление способности изделия не допускать попадания пыли внутрь корпуса.

51. Испытания на пылеустойчивость – испытания изделия на образования действия пыли (разрушающее действие).

52. При испытании на пылеустойчивость применяется следующий состав: просушенная пылевая смесь, содержащая 60-70% песка, 15-20% мела и 15-20% каолина.

53. При испытании на пылезащитность – формирующий порошок (сульфид цинка) 10%, песок 60%, мел 15%, каолин 15%.

54. Основные параметры при испытании на пылеустойчивость:

- величина частиц смеси не более 50 мкм;
- скорость циркуляции воздушно-пылевого потока 0,5-1 м/сек;
- продолжительность обдува 2 час.

55. Основные параметры при испытании на пылезащитность:

- величина частиц смеси не более 20 мкм;
- скорость циркуляции воздушно-пылевого потока 10-15 м/сек;
- продолжительность обдува 1 час.

56. Камеры КП – камеры, которые используют для проведения испытаний на воздействие пыли.

57. Целью испытаний на грибоустойчивость является определение устойчивости параметров и способности изделий противостоять развитию и разрушаемому действию плесневых грибов, которыми заражена окружающая влажная среда.

58. Оптимальными условиями развития плесени являются высокая относительная влажность (более 85%), неподвижность воздуха и температура от 20 до 30 °С.

59. Особенно подвержены воздействию плесени: масляные краски, детали из древесины, стеклянные призмы и линзы.

60. В тропических условиях достаточно устойчивы к действию плесени такие пластмассы, как полиэтилен, полихлорвинил, фторопласт и др.

61. Система, которая используется для оценки роста грибов, называется пятибалльной системой, рекомендованной Международной электротехнической комиссией (МЭК).

62. Испытания на воздействие морского тумана – это иакме испытания, которые позволяют выявить коррозионную устойчивость различных изделий, состояние их поверхностных покрытий и т.д.

63. Водородный показатель рН – это число, характеризующее степень кислотности или щелочности раствора, т.е. концентрацию водородных и гидроксильных ионов в нем.

64. Камера соляного тумана (КСТ) – это испытательное оборудование, которое должно обеспечивать возможность поддерживать температуры от 25 до 60 °С при относительной влажности до 100% и быть коррозионно-стойким.

65. Дисперсность – величина, характеризующая степень раздробления вещества на частицы.

66. Водность – величина, характеризующая количество капель жидкой влаги в единице объема.

67. Целью испытания на брызгозащищенность, водозащищенность и водонепроницаемость является выявление устойчивости работы изделий во время и после пребывания под указанными видами воздействий.

68. α - и β -лучи – это потоки противоположно заряженных частиц, причем α -лучи являются потоком положительно заряженных частиц, а β -лучи – отрицательно заряженных частиц, γ -лучи являются нейтральными.

69. Ионизирующее излучение – это радиационное излучение, проникающее в толщу вещества и вызывающее в нем ионизацию.

70. Целью радиационного испытания является определение устойчивости изделий к воздействию радиации, а также проверка их способности выполнять свои функции и

сохранять неизменными параметры в процессе и после пребывания в среде с повышенной радиоактивностью.

71. γ -кванты и нейтроны высокой энергии (1 Мэв) – вид излучения, возникающий при ядерном взрыве и вызывающий переходные или необратимые изменения характеристик элементов и выводящие ЭА из строя.

72. Рентгенометры (дозиметры) – приборы, измеряющие дозу или мощность дозы излучения.

73. Радиометры – приборы, которые определяют плотность потока ионизирующего излучения и позволяют вести счет отдельным частицам (квантам).

74. Целью космических испытаний является установление работоспособности ЭА сохранять свои параметры в пределах норм при воздействии целой группы внешних факторов: 1 – невесомость; 2 – низкое давление; 3 – переменная температура; 4 – вибрация; 5 – линейное ускорение; 6 – радиация.

75. Автоматизированные системы испытания и контроля (АСИК) – программно-аппаратный комплекс на базе средств испытательной, измерительной и вычислительной техники, предназначенной для выполнения комплексного контроля изделий РЭА

76. Технические условия – основной документ, в соответствии с которым проводят приемку оборудования.

77. Приемочно-сдаточные испытания – проверка соответствия оборудования требованиям, указанным в технических условиях для данного вида испытаний, и определение возможности приемки оборудования.

78. Периодические испытания – контроль соответствия оборудования требованиям технических условий и возможности продолжения его выпуска.

79. Квалификационные испытания – определение готовности производства к выпуску оборудования в заданном объеме и проверке соответствия оборудования требованиям.

80. Типовые испытания – оценка эффективности и целесообразности изменений, вносимых в конструкцию или технологический процесс изготовления оборудования.

81. Испытания на надежность – проверка соответствия показателей надежности оборудования требованиям технических условий.

82. Естественные воздействия – совокупность климатических, биологических, космических и механических воздействий.

83. Внутренние воздействия – определяются режимом работы РЭА и характеризуются нагрузками, например электрическими и механическими, связанными с функционированием РЭА.

84. Объективные факторы – воздействия внешних условий, в которых осуществляется хранение, транспортировка и эксплуатация ЭА.

85. Субъективные факторы – человеческая деятельность на этапах проектирования, производства и эксплуатации РЭА

86. Надежность – свойство объекта сохранять способность выполнять заданные функции, включающие в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации такие свойства как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или их сочетания.

87. Показатель надежности – техническая характеристика, количественным образом определяющая одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта.

88. Единичный показатель надежности – одно из свойств (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость), составляющих надежность изделия.

89. Вероятность безотказной работы – вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

90. Вероятность отказа – вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ.

91. Частота отказов – отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются.

92. Интенсивность отказов – отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.

93. Закон Пуассона – описывает случайные события, появляющиеся на интервале времени t с большой частотой, но в каждом случае с малой вероятностью $P_i(t)$

94. Биноминальный закона распределения – позволяет оценить вероятность появления некоторого события A равно n раз в серии из m опытов.

95. Экспоненциальный закон распределения – частный случай более общего закона распределения Вейбулла.

96. Распределение Вейбулла – используют для оценки надежности РЭА на этапах приработки и старения.

97. Усеченный нормальный закон распределения – используется для оценки показателей надежности на этапе износа и старения и, в некоторых случаях, для определения времени наработки.

98. Логарифмический нормальный закон распределения – применяется в том случае, когда логарифм случайной величины t имеет нормальное распределение.

99. Управляющая функция АСИК – совокупность действий, включающих получение информации о состоянии испытываемого объекта и системы, оценку информации, выбор управляющих воздействий и их реализацию.

100. Информационная функция – получение (измерение и преобразование), обработка и передача информации о состоянии испытываемого объекта,

оборудования - внешней и внутренней среды испытательной камеры.

101. Вспомогательная функция – сбор и обработка данных о состоянии технического или программного обеспечения и либо представления этой информации персоналу, либо осуществление управляющих воздействий на соответствующие компоненты обеспечения АСИК.

102. Объект регулирования – любая из испытываемых установок, в которой требуется поддерживать испытательный режим.

103. Модуль – аналог ввода, а также дополнительное устройство управления периферийными терминалами, необходимое для отладки встраиваемых процессов.

104. Гигроскопичность – способность материалов поглощать влагу из воздуха.

105. Водостойкость – процент воды, который впитывает единица сухого материала при пребывании в воде.

106. Математическое обеспечение – методы, математические модели системы и испытываемых изделий, алгоритмы функционирования АСИК.

107. Программное обеспечение – программы, необходимые для реализации всех функций АСИК. Программа записывается на носителях; перфолента, перфокартах, магнитных дисках и лентах.

108. Информационное обеспечение – нормативно-справочная документация, например, содержащая описание стандартных контрольно-испытательных процедур, типовых управляющих решений; форма представления и организации данных в АСИК, в том числе форма документов, видеограмм, массивов и протоколов обмена данными.

109. Лингвистическое обеспечение АСИК – языки описания и манипулирования данными, управления процессами контроля и программирования.

110. Организационное обеспечение – совокупность правил и предписаний, устанавливающих структуру

организации, а так же ее предписаний, их функции и требуемое взаимодействие персонала АСИК с комплексом технических средств и между собой.

111. Методическое обеспечение – документы, в которых содержится состав, правила отбора и эксплуатации компонентов АСИК, последовательности операций, реализующих типовые процедуры контроля, инструкции по работе с оборудованием.

112. Метрологическое обеспечение АСИК – метрологические средства и инструкции по их применению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным требованием, предъявляемым к современной радиоэлектронной аппаратуре, является пригодность использования ее по назначению в заданных условиях. Совокупность свойств, определяющих степень пригодности, характеризуется качеством. Составной частью качества является надежность, в понятие которой включается некоторая часть свойств, определяющих качество.

Для обеспечения заданной надежности РЭА и ее элементы подвергаются контролю или испытаниям на этапах конструирования, производства и эксплуатации.

Анализ технологических процессов испытаний и практика их проведения позволяют выделить характерные для всех видов испытания этапы, а именно: подготовку объекта и оборудования к испытаниям и собственно испытания. К последним относится управление процессом испытаний; измерение физических параметров объекта испытаний и внешних воздействий; обработка результатов измерений; анализ состояния объекта испытаний; выработка рекомендаций по корректировке проектных решений; регулировка; диагностирование и поиск неисправностей объекта испытаний; регистрация результатов или документирование технологического процесса испытаний.

Все перечисленные этапы состоят из сложных и трудоемких информационно-измерительных и управляющих процессов. Успешная их реализация невозможна без знания и правильного использования испытательного оборудования.

Учебное пособие написано по программе курса «Методы и устройства испытания электронных средств» читаемого в ВГТУ по специальности 12.03.01 «Приборостроение» (профиль «Приборостроение») и 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и конструирование электронных средств»). Материал пособия излагается на основе действующих государственных и отраслевых стандартов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинский В. Д. Контроль и испытания радиоаппаратуры / Малинский В. Д. М.: Энергия, 1970. 336 с.
2. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: учеб. пособие для вузов; под ред. А. И. Коробова. – М.: Радио и связь, 1987.-272с.: ил.
3. Испытательная техника / под ред. В. В. Клюева.- М.: Машиностроение, 1982. Кн. 1.- 528 с.
4. Кузнецов А.А. Вибрационные испытания элементов и устройств автоматики. - М.: Энергия, 1976. - 118.
5. Федотов В.К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В.А. Федотов, Н.П. Сергеев. А.А. Кондрашин; под ред. В.К. Федотова. - М.: Техносфера, 2005. - 502с.
6. Глудкин, О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. - М. : Высшая школа, 1991. – 336 с.
7. Серёгин М.Ю. Организация и технология испытаний: в 2 частях, ч.1: учебное пособие. - Тамбов: ТЕТН, 2006. - 84 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|------------|
| Введение | 3 |
| 1. Общие вопросы испытаний приборов и ЭС..... | 5 |
| 1.1. Классификация приборов и ЭС..... | 5 |
| 1.2. Надежность приборов и ЭС..... | 7 |
| 1.3. Факторы, определяющие надежность приборов и ЭС | 12 |
| 1.4. Классификация методов испытаний ЭА | 15 |
| 1.5. Ускоренные испытания | 19 |
| 1.6. Испытания на повреждающую нагрузку..... | 29 |
| 1.7. Статистические испытания | 34 |
| 1.8. Граничные испытания..... | 39 |
| 1.9. Матричные испытания..... | 46 |
| 1.10. Испытания ЭА в процессах проектирования и | 51 |
| производства..... | |
| 1.11. Методика составления программы испытаний..... | 55 |
| 1.12. Определение продолжительности испытаний и | 63 |
| количества испытываемых изделий (размер выборки)..... | |
| 1.13. Основные сведения о климатических и механических | 71 |
| факторах, воздействующих на ЭА..... | |
| 1.14. Общие положения об испытаниях..... | 86 |
| 2. Оборудование для измерения..... | 99 |
| 2.1. Средства измерения температуры..... | 99 |
| 2.2. Средства измерения влажности воздуха..... | 115 |
| 2.3. Вакуумные машины и установки..... | 120 |
| 2.4. Силоизмерительные устройства с упругими | 131 |
| динамометрами..... | |
| 2.5. Измерения радиационного излучения. Средства | 164 |
| измерения радиационного излучения..... | |
| Лабораторные работы..... | 171 |
| 1. Лабораторная работа №1..... | 171 |
| 2. Лабораторная работа №2..... | 175 |
| 3. Лабораторная работа №3..... | 192 |
| 4. Лабораторная работа №4..... | 215 |
| Глоссарий..... | 233 |
| Заключение..... | 246 |
| Библиографический список..... | 247 |

Учебное издание

Никитин Леонид Николаевич
Лукин Анатолий Николаевич
Семенов Виктор Николаевич

ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

В авторской редакции

Компьютерный набор Л.Н. Никитина

Подписано к изданию
Объем данных Мб.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14

