

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ РЭС

Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21020165

Учебное издание

АБОМЕЛИК Татьяна Павловна

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ РЭС

Методические указания

Редактор М. В. Теленкова

Подписано в печать 30.12.2008.

Формат 60^84/16. Усл. п. л. 2,36. Тираж 100 экз. Заказ *Л f*

Ульяновский государственный технический университет

432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32

Составитель Т. П. Абомелик

Ульяновск
2008

Значение критерия Диксона

УДК 621.396 (076)
ББК 32.844-02 я7
М 15

Рецензент заместитель директора по науке Ульяновского филиала ИРЭ
РАН, кандидат технических наук А. А. Широков

Одобрено секцией методических пособий
научно-методического совета университета

Методы и средства испытаний РЭС : методические указания к
5 лабораторным работам / сост. Т. П. Абомелик. - Ульяновск: УлГТУ, 2008. -
40 с.

Сборник лабораторных работ предназначен для студентов специальности 21020165.
даны методические указания по разработке программы и методики испытаний -
основных документов для проведения испытаний.

Методические указания подготовлены на кафедре ПиТЭС.

УДК 621.396 (076)
ББК 32.844-02 я 7

	Достоверность				Обозначение коэффициента Диксона
	0,9	0,95	0,99	0,995	
3	0,866	0,941	0,988	0,994	Г ₁₀
4	0,679	0,765	0,889	0,926	
5	0,557	0,642	0,780	0,821	
6	0,482	0,560	0,698	0,740	
7	0,434	0,507	0,637	0,680	
8	0,479	0,554	0,683	0,725	Г ₁₁
9	0,44	0,512	0,635	0,677	
10	0,409	0,477	0,597	0,639	
4	0,935	0,967	0,992	0,996	Г ₂₀
5	0,782	0,845	0,929	0,950	
6	0,670	0,736	0,836	0,865	
7	0,596	0,661	0,778	0,814	
8	0,545	0,607	0,710	0,746	
9	0,505	0,565	0,667	0,700	
10	0,474	0,531	0,632	0,664	
11	0,517	0,576	0,679	0,713	Г ₂₁
12	0,490	0,546	0,642	0,675	
13	0,467	0,521	0,615	0,649	
14	0,492	0,546	0,641	0,674	Г ₂₂
15	0,472	0,525	0,616	0,647	
16	0,454	0,507	0,595	0,624	
17	0,438	0,490	0,577	0,605	
18	0,424	0,475	0,561	0,589	
19	0,412	0,462	0,547	0,575	
20	0,401	0,450	0,535	0,562	
21	0,391	0,440	0,524	0,551	
22	0,382	0,430	0,514	0,541	
23	0,374	0,421	0,505	0,532	
24	0,367	0,413	0,497	0,524	
25	0,360	0,406	0,489	0,516	
26	0,354	0,399	0,486	0,508	
27	0,348	0,393	0,475	0,501	
28	0,342	0,387	0,469	0,495	
29	0,337	0,381	0,463	0,489	
30	0,332	0,376	0,457	0,483	

Приложение 3

Диапазон частот, Гц	Степень жесткости
25	1
40	2
100	3

На подвижную аппаратуру, особенно на ракетно-космическую, действует акустический шум. Значения акустического шума приведены в Приложении К.

Приложение И

Значение характеристик		Степень жесткости
Диапазон частот, Гц	Максимальный уровень звукового давления, дБ	
50... 10000	130	1
	140	2
	150	3
	160	4
	170	5

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Лабораторная работа № 5 «Разработка программы испытаний».....	5
1. Цель лабораторной работы.....	5
2. Планирование испытаний.....	5
3. Программа испытаний.....	6
4. Содержание основных разделов программы испытаний.....	7
5. Порядок выполнения лабораторной работы.....	10
6. Содержание отчета.....	10
7. Контрольные вопросы.....	11
Лабораторная работа № 6 «Разработка методики испытаний».....	12
1. Цель лабораторной работы.....	12
2. Методика испытаний.....	12
3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	16
4. Контрольные вопросы.....	16
Лабораторная работа № 7 «Обработка результатов испытаний».....	18
1. Цель лабораторной работы.....	18
2. Статистическая обработка результатов испытаний радиоэлектронных средств.....	18
2.1. Оценка точности результатов испытаний.....	18
2.2. Оценка резковыделяющихся значений.....	21
2.3. Графические методы представления экспериментальных данных.....	24
2.4. Точностная диаграмма.....	28
3. Порядок выполнения работы.....	29
4. Содержание отчета.....	29
5. Контрольные вопросы.....	29
Библиографический список.....	30
Приложение А.....	31
Приложение Б.....	32
Приложение В.....	33
Приложение Г.....	34
Приложение Д.....	35
Приложение Е.....	36
Приложение Ж.....	37
Приложение З.....	38
Приложение И.....	38
Приложение К.....	39

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Методы и средства испытаний радиоэлектронных средств (РЭС)» предназначены для студентов специальности 21020165 «Проектированием и технология радиоэлектронных средств».

В методических указаниях рассматриваются некоторые вопросы раздела «Основы теории испытаний РЭС» и раздела «Обработка результатов испытаний РЭС» в соответствии с учебно-методическим комплексом по дисциплине (УМК). Цель методических указаний — формирование у студентов навыков по планированию и анализу результатов испытаний РЭС с целью обеспечения и оценки их качества в процессе проектирования и производства в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкторам и технологам РЭС. Задачи методических указаний — приобретение навыков планирования испытаний РЭС и обработки результатов испытаний. Методические указания способствуют приобретению знаний в области методов и методик испытаний РЭС, разработки основных документов для проведения испытаний: программы и методики испытаний; обработки и анализа результатов испытаний.

Методические указания позволяют в результате изучения дисциплины приобрести умения формировать предложения по составлению программ испытаний РЭС, разрабатывать на основе технических требований к РЭС требования к испытаниям с учетом воздействия внешних факторов.

В результате изучения курса «Методы и средства испытаний РЭС» студент должен приобрести навыки:

- планировать и проводить испытания РЭС;
- выбирать испытательное оборудование;
- проводить обработку результатов испытаний.

Воздействующий фактор	Параметры			Степень жесткости
	Диапазон частот, Гц	Перегрузки	Длительность импульса, мс	
1. Вибрации	1...35	0,5	-	1
	1...60	1,0	-	2
	1...60	2,0	-	3
	1...80	5,0	-	4
	1...100	1,0	-	5
	1...200	5,0	-	6
	1...200	10,0	-	7
	1...600	5,0	-	8
	1...600	10,0	-	9
	1...1000	10,0	-	10
	1...2000	5,0	-	11
	1...2000	10,0	-	12
	1...2000	15,0	-	13
	1...2000	20,0	-	14
	1...3000	20,0	-	15
	1...5000	10,0	-	16
	1...5000	20,0	-	17
	1...5000	30,0	-	18
	1...5000	40,0	-	19
	1...5000	40,0	-	20
2. Удары многократные	-	15	2...15	1
	-	40	2...10	2
	-	75	2...6	3
	-	150	1...3	4
3. Удары одиночные	-	4	40...60	1
	-	20	20...50	2
	-	75	2...6	3
	-	150	1...3	4
	-	500	1...3	5
	-	1000	0,2... 1	6
	-	1500	0,2...0,5	7
	-	3000	0,2...0,5	8
3. Линейные ускорения	-	10	-	1
	-	25	-	2
	-	50	-	3
	-	100	-	4
	-	150	-	5
	-	200	-	6
	-	500	-	7

Рекомендуется, чтобы изделия без амортизации (блоки, узлы, детали) не имели резонансных частот в диапазонах, указанных в Приложении И.

Группа исполнения	Объект установки (Класс РЭА)	Вибрация		Удары многократные	
		Частота, Гц	ускорение	ускорение	Длит, импульса
M1	Стационарная	1...35	0,5	15	2...15
M2	Переносная	1...60	1	15	2...15
M3	Возимая и стационарная РЭА промышленных предприятий	1...60	2	15	2...15
M4	Носимая железнодорожная, автомобильная, водная с частотой вращения гребного вала до 1200 об/мин	1...200	5	15	2...15
M5	РЭА на гусеничном ходу и скоростных судах с 1200 об/мин	1...200	5	40	2...10
M6	В РЭА устанавливаемой с мощными источниками вибрации (бортовая) и промышленная, если имеется ощутимая вибрация на частотах выше 200 Гц	1...600	10	40	2...10

Разделение механических факторов по степеням жесткости в соответствии с ГОСТ 16962-71.

Лабораторная работа № 5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ

1. Цель лабораторной работы

Для заданного типа радиоэлектронного средства (РЭС) разработать программу испытаний (исследовательских, периодических и др.) при указанных условиях эксплуатации.

2. Планирование испытаний

Проведению испытаний предшествует этап планирования. В результате планирования испытаний определяют виды испытаний, объем исследуемых партий, выборки; нормы и допуска на контролируемые параметры, правила принятия решения.

Планирование испытаний имеет цель оптимизировать эксперимент по контролю свойств объекта испытаний. Оптимизация испытаний может проводиться по различным критериям. Главными критериями являются достоверность оценки свойств объекта испытаний или экономическая эффективность испытаний. В результате планирования необходимо ответить на вопросы: целесообразно ли проведение испытаний и, если испытания проводить целесообразно, какими должны быть характеристики плана испытаний.

Целесообразность проведения испытаний может определяться исходя из ожидаемого экономического эффекта.

Проведение испытаний целесообразно, если выполняется следующее условие

$$\Delta n \cdot c_0 / (\Delta N \cdot C_{изг} + \tilde{N}_{исп}) > 1,$$

где Δn - величина, на которую уменьшится число отказов у потребителя при введении испытаний;

c_0 - стоимость отказа (затраты на обнаружение отказа, ремонт, ликвидацию последствий отказа);

$C_{изг}$ - стоимость изготовления одного отказавшего изделия;

ΔN - рост числа заораканных изделия при введении испытаний;

$\tilde{N}_{исп}$ - стоимость испытаний.

В ходе планирования испытания разрабатывают программу испытаний.

3. Программа испытаний

Программа испытаний - это организационно-методический документ, обязательный для исполнения, устанавливающий объект и цели испытаний, порядок, условия, место и сроки проведения испытаний, обеспечение испытаний, ответственность за обеспечение и проведение испытаний, оформление протоколов и отчетов.

Программа испытаний оформляется следующим образом. На титульном листе программы испытаний размещают: наименование программы, например, «Типовые испытания микросборок на поликорковых и металлических подложках»; название темы, по которой ведется разработка изделия; согласующие и утверждающие программу подписи руководителей организации-разработчика РЭС и, при необходимости, представителя заказчика.

Программа испытаний состоит из шести разделов.

Раздел 1. Объект испытаний

Включает в себя наименование, чертежный номер, заводской номер, дату выпуска объекта испытаний.

Раздел 2. Цель испытаний

Ставится конкретная цель или цели испытаний.

Раздел 3. Обоснование необходимости проведения испытаний

Указываются документы, в которых регламентирована необходимость проведения испытаний (техническое задание, технические условия).

Раздел 4. Место проведения и обеспечение испытаний

Содержит наименование подразделения, в котором проводятся испытания, а также план работ по их подготовке и проведению с указанием объема, срока исполнения и соответствующих исполнителей.

Раздел 5. Объем и методика испытаний

Раздел состоит из двух подразделов.

В первом подразделе указываются условия испытаний (число образцов, распределение их на группы, последовательность прохождения испытаний различными группами по видам воздействий), оборудование.

Второй подраздел включает сведения о контролируемых параметрах изделия с указанием документации, по которой требуется измерить или определить эти параметры.

Раздел 6. Оформление результатов испытаний

Регламентируется форма представления отчетности по результатам испытаний: протокол, отчет, техническая справка.

Дополнительное увеличение температуры за счет нагрева солнечными лучами

Исполнение	Увеличение рабочей температуры, °С	Увеличение предельной температуры, °С
У; ТВ	5	1
ТС, Т, В, О	5	5
ХЛ, М, ТМ, ОМ	0	0

Примечание: Для изделий всех исполнений кроме ХЛ, у которых поверхности, нагреваемые солнцем, имеют любой цвет, кроме белого или серебристо-белого, рабочие, а в исполнении М, ТМ, ОМ также предельные температуры, увеличиваются на 5 °С. Для изделий категории I в пластмассовой оболочке верхнее значение рабочей и предельно температур повышают на 5 °С по сравнению с таблицей.

Приложение Г

Величина изменения температуры окружающего воздуха за 8 часов составляет: для исполнения У, ХЛ, Т, ТС, О, В - 40°C для исполнения ТВ, ТМ - 10°C для исполнения М, ОМ-30°C.

Рабочие значения влажности воздуха приведены в таблице

Исполнения изделия	Категория изделия	Относительная влажность		
		Среднемесячное значение в наиболее теплый и влажный период и		Верхнее значение
		Значение	Продолжительность, месяцы	
У, ХЛ	4; 4.1; 4.2	65% при 20°C	12	80% при 25°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
У, ХЛ	3; 1	80% при 20°C	6	98% при 25°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
У, ХЛ	1.1	80% при 20°C	2	89% при 25°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
	1.2	80% при 20°C	6	100% при 25°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги
ТС	5	90% при 20°C	12	100% при 25°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги
	1.1 ; 2; 3; 4.1; 4.2	65% при 20°C	12	80% при 25°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
	1	65% при 20°C	12	100% при 10°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги
ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	5	90% при 20°C	12	100% при 25°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги
	4.2	80% при 27°C	3	98% при 35°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
	1.1	90% при 27°C	4	98% при 35°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
ТС	1; 2; 5	90% при 27°C	12	100% при 35°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги
	3,4	80% при 27°C	12	98% при 35°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
М	4.1	65% при 20°C	12	80% при 25°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
	3; 4	80% при 20°C	6	98% при 25°C и при более низких температурах, без конденсации влаги
	1,2	90% при 20°C	6	100% при 25°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги
	5	90% при 20°C	12	100% при 25°C и при более низких температурах, с конденсацией влаги

При эксплуатации наземных изделий, не предназначенных для работы в высокогорных районах, рабочее значение атмосферного давления составляет 650-800 мм.рт.столба, нижнее предельное давление значения - 630 мм.рт.ст.

650-800 мм.рт.ст. /870-1070 ГПа/
630 мм.рт.ст. /840 ГПа/

4. Содержание основных разделов программы испытаний

При составлении Раздела 1 следует учитывать, что по результатам испытаний объекта принимается то или иное решение о его годности или забраковании, предъявлении на следующие испытания или возможности серийного выпуска.

Объектами испытаний могут быть: макеты, модели, экспериментальные образцы, изготовленные на этапе научно-исследовательских работ (НИР); опытные образцы (опытная партия), изготовленные на этапе выполнения опытно-конструкторских работ (ОКР); образцы, изготовленные при освоении изделия в производстве; образцы, изготовленные в ходе серийного производства.

Испытаниям подвергают изделия, соответствующие нормативно-технической документации (НТД) по конструкции, внешнему виду, а также параметрам, определяемым в нормальных климатических условиях. Изделия следует испытывать в тех условиях, в которых они будут эксплуатироваться, транспортироваться и храниться.

В зависимости от вида и этапа разработки продукции объектом испытаний может быть единичное изделие или партия изделий, подвергаемая сплошному или выборочному контролю. Например, на испытания предъявляется партия телевизоров объемом N. Из этой партии берется выборка объемом n, которая проходит испытания. Результаты испытаний выборки распространяются на всю партию N телевизоров. В этом случае объектом испытаний является вся партия телевизоров.

При выборе объекта испытаний следует исходить из того, что в процессе испытаний должна быть подтверждена работоспособность изделий при указанных в НТД условиях эксплуатации, а также соответствие значений показателей надежности изделий заданным НТД. При этом должно быть предусмотрено: наличие соответствующих устройств для проведения испытаний, минимальная стоимость (включая затраты на устройства испытаний) и продолжительность испытаний, взаимозаменяемость испытываемых изделий или отдельных функциональных узлов и блоков (для ремонтнопригодных изделий) в процессе испытаний.

В разделе 2 должны быть сформулированы цели испытаний. Цели испытаний достаточно разнообразны. Цель испытаний определяет всю программу испытаний. Так, например, целью исследовательских испытаний может быть: экспериментальная оценка влияния климатических и механических факторов на устойчивость электронной аппаратуры. С целью стабильности качества продукции и возможности продолжения ее выпуска проводят периодические испытания продукции в объеме и сроки, установленные нормативно-техническими документами. Этот вид контрольных испытаний проводится каждый месяц или квартал, а также вначале выпуска

Значения температуры окружающего воздуха в зависимости от климатического исполнения и категории аппаратуры

аппаратуры или при возобновлении производства, после временного его прекращения. Результаты периодических испытаний распространяются на все партии, выпущенные в течении определенного времени. Периодические испытания включают в себя такие испытания, при которых вырабатывается часть ресурса аппаратуры, например, многократные удары, термоциклы, поэтому они всегда являются выборочными. Типовые испытания - это контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию или технологический процесс.

Цели испытаний раскрывают их назначение. Поэтому, чтобы сформулировать название испытаний, необходимо установить их назначение, т. е. определить по цели испытаний к какой из четырех групп (исследовательские, контрольные, сравнительные, определительные) их можно отнести. В названии испытаний должны быть учтены и другие признаки вида испытаний (продолжительность, вид и результат воздействия и др.). Название испытаний может содержать два и более признаков из числа перечисленных. Например, исследовательские лабораторные испытания экспериментальных образцов приемной аппаратуры на воздействие механических и климатических факторов.

В разделе «Место проведения и обеспечения испытаний» указывается подразделение, в котором проводятся испытания. Например, отдел испытаний. Указывается время и дата начала и конца испытаний. В этом разделе приводится план работ по подготовке и проведению испытаний. План работ содержит перечень работ, необходимых для проведения испытаний: изготовление образцов, приемка образцов отделом технического контроля (ОТК), измерения и определение параметров образцов перед испытаниями, подготовка устройств для испытаний, проведение испытаний, оформление результатов испытаний, согласование и утверждение протокола испытаний и др.

В разделе 5 «Объем и методика испытаний» рассматриваются условия испытаний. Под условиями испытаний понимают совокупность воздействий на объект и режимы его функционирования. Условия испытаний характеризуются воздействием на объект как объективных, так и субъективных факторов.

Так как основная задача испытаний в получении информации о потенциально ненадежных изделиях, выбору воздействующих факторов должно придаваться первостепенное значение. При этом необходимо учитывать: этап проектирования или тип производства, назначение РЭС, уровень декомпозиции объекта испытаний, категорию (объект установки) РЭС, внешние дестабилизирующие факторы.

Основные принципы выбора воздействующих факторов следующие: адекватность условий испытаний условиям эксплуатации; учет механизмов старения или развития отказа; учет потенциальной ненадежности элементов конструкции. Необходимо при определении конструкции выбирать

Исполнения	Категории	Нормальные значения температуры воздуха при эксплуатации °С				
		Рабочие			Предельные	
		Верхнее значение	Нижнее значение	Среднее значение	Верхнее значение	Нижнее значение
О	4	+45	+1	+27	+55	+1
	41	25	+10	+20	+40	+10
	42	45	+10	+27	+45	+1
	5	+35	-10	+10	+35	-10
М	1.1; 1;2;3	+45	-60	+27	+55	-60
	4	+40	-10	+20	+40	-10
	41	+35	+15	+20	+40	+1
ТМ	1.1; 1; 2; 3; 5	+40	-40	+10	+45	-40
	4	+45	+1	+27	+45	+1
	41	+25	+10	+20	+40	+1
ОМ	1.1; 1;2;3;5	+45	+1	+27	+45	+1
	4	+45	-10	+27	+45	-10
	41	+35	+15	+20	+40	+1
В	1.1; 1;2;3	+45	-60	+27	+55	-60
	4	+45	+1	+27	+55	+1
	41	+35	+10	+20	+40	+1

Приложение Б

Категория изделий в зависимости от места размещения при эксплуатации (ГОСТ 15150-69)

Укрупненные категории	Обозначение	Дополнительные категории
Характеристика		Характеристика
Для работы на открытом воздухе	1	1.1 Изделия, хранящиеся в процессе эксплуатации в помещениях категории 4 и работающие как в условиях категории 4, так и кратковременно в других условиях
Для работы в помещениях, где колебания температуры и влажность воздуха несут существенно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется свободный доступ наружного воздуха, например, в палатках, кузовах, прицепах, а также в кожухе комплексного устройства изделия категории 1 или под навесом	2	
Для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственного регулирования климатических условий. Где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе	3	
Для работы в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями, например, в закрытых, отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других помещениях	4	4.1 Помещения с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом 4.2 Помещения лабораторные, капитальные, жилье
Для работы в помещениях с повышенной влажностью (неотапливаемые и неветилируемые) помещения, в том числе шахты, подвалы, почва: судовые, корабельные помещения, где возможно длительное наличие влаги	5	

номенклатуру внешних воздействий, характерную для условий эксплуатации, чтобы обеспечить адекватность условий испытаний условиям эксплуатации.

При эксплуатации, как правило, имеет место более жесткое воздействие на РЭС по сравнению со стендовыми или лабораторными испытаниями. Поэтому для испытаний следует выбирать значения внешних воздействий, превышающие характерные значения для нормальных условий эксплуатации.

Наиболее эффективно выявить потенциально ненадежные изделия позволяют удары, тепло, влага и электрические нагрузки. Испытания на вибрацию являются средством контроля качества РЭС после сборки.

Уровень внешних воздействий задается в виде степеней жесткости.

Виды основных климатических и биологических испытаний приведены в таблице 1.

Обозначения: «+» испытания проводят; «-» испытания не проводят; «И» испытания могут быть проведены, если это предусмотрено нормативно-технической документацией на изделие.

Основные виды механических испытаний приведены в таблице 2.

Испытания проводятся в соответствии с разработанной методикой на основании действующих гостов, нормалей или другой нормативной документации.

Таблица 1

Виды основных климатических и биологических испытаний

Вид испытаний	Состав испытаний	
	Этап разработки (ОКР) и освоение изделий в серийном производстве	Периодические испытания (контроль стабильности производства)
Теплоустойчивость	+	+
Холодоустойчивость	+	+
Влагоустойчивость длительная	+	И
Влагоустойчивость кратковременная	+	+
Воздействие пониженного атмосферного давления	+	И
Воздействие повышенного атмосферного давления	+	и
Воздействие солнечной радиации	+	—
Воздействие соляного тумана	+	—
Воздействие пыли и песка	+	—
Воздействие инея и росы	+	—
Термоудар	+	+
Грибоустойчивость (биологические испытания)	+	—

Таблица 2

Основные виды механических испытаний

Вид испытаний	Состав испытаний	
	Этапы разработки (ОКР), Типовые испытания	Периодические испытания
Испытания на обнаружение резонансных частот	+	—
Виброустойчивость		+
Вибропрочность длительная	+	И
Вибропрочность кратковременная	—	И
Ударная прочность	+	—
Ударная устойчивость	+	—
Испытания на воздействие одиночных ударов	+	—
Испытания на воздействие линейных ускорений	+	—
Испытания на воздействие акустического шума	+	—

5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. На основании технического задания, которое определяет: этап проектирования, объект испытаний, назначение РЭС, категорию РЭС, внешние дестабилизирующие факторы, провести анализ технического задания. При анализе технического задания использовать Приложения А, Б, В, Г, Д, Е.

5.2. На основе анализа технического задания выбрать виды испытаний.

5.3. Выбрать последовательность проведения испытаний.

5.4. Разработать алгоритм проведения испытаний.

5.5. Разработать программу испытаний, используя Приложения Ж, З, И.

5.6. Провести анализ программы испытаний и оптимизировать ее по критериям минимальной продолжительности испытаний или стоимости

6. Содержание отчета

1. Анализ технического задания.
2. Перечень видов испытаний и их последовательность.
3. Алгоритм проведения испытаний.
4. Программа испытаний.
5. Анализ программы испытаний и результаты оптимизации.

Климатические исполнения изделий (ГОСТ 16350-70)

Исполнение изделий	Обозначение		
	Буквенные		Цифровые
	Русск.	Латинск. (исп. В странах (СЭВ))	
Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах			
Для макроклиматических районов с умеренным климатом	У	(N)	0
Для макроклиматических районов с холодным климатом	ХЛ	(F)	1
Для макроклиматических районов с влажным тропическим климатом	ТВ	(TH)	2
Для макроклиматических районов с сухим тропическим климатом	ТС	(TA)	3
Для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т	(T)	4
Для макроклиматических районов на суше (общеклиматическое исполнение)	О	(r)	5
Изделия, предназначенные для установки на судах			
Для макроклиматических районов с умеренно-холодным морским климатом	М	(M)	6
Для макроклиматических районов с тропическим морским климатом для судов каботажного плавания или иных, предназначенных для плавания только в тропической зоне	ТМ	(NT)	7
Для неограниченного района плавания	ОМ	(NV)	8
Изделия, предназначенные для всех макроклиматических районов на суше и на море	В	(W)	9

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондрашин; под ред. В. К. Федорова. - М: Техно-сфера, 2005. - 205 с.

2. Глудкин О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. - М.: Высшая школа, 1991. - 336 с.

3. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: учебное пособие / О. П. Глудкин, А. Н. Енганычев, А. И. Коробов, Ю. В. Трегубов; под ред. А. Н. Коробова. - М.: Радио и связь, 1987. - 272 с.

7. Контрольные вопросы

1. Каковы задачи планирования испытаний?
2. В каком случае целесообразно проводить испытания?
3. Что разрабатывается в процессе планирования испытаний?
4. Какие разделы включает в себя программа испытаний?
5. Что понимают под программой испытаний?
6. Какие существуют виды климатических испытаний?
7. Какие существуют виды механических испытаний?
8. Какие виды испытаний относят к коррозионно-активным?
9. Какие существуют виды биологических испытаний?
10. Из каких подразделов состоит раздел «Объем и методика испытаний»?
11. Что является объектом испытаний?
12. Как сформулировать название программы испытаний?
13. Что включает в себя план работ по проведению испытаний?
14. Какие существуют основные принципы выбора воздействующих факторов?

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ

1. Цель лабораторной работы

Для заданного типа радиоэлектронного средства (РЭС) разработать методику испытаний при указанных условиях эксплуатации

2. Методика испытаний

Методика испытаний - это организационно-методический документ, обязательный для выполнения, в котором формулируются: метод испытаний, средства и условия испытаний, порядок отбора выборок, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких характеристик испытываемого изделия; формы представления данных и оценки точности, достоверности результатов; требования техники безопасности и охраны окружающей среды.

Методика испытаний определяет процесс (технологию) проведения испытаний. Методика испытаний может быть изложена в самостоятельном документе или в программе испытаний.

Основное требование к методике испытаний — обеспечение максимальной эффективности процесса испытаний и минимальных погрешностей результатов.

Методика испытаний должна определить метод испытаний, условия испытаний, технические средства для проведения испытаний, состав и последовательность испытаний.

Метод испытаний - совокупность правил применения определенных принципов и средств для реализации испытаний, позволяющих определить проверку изделий на соответствие требований НТД. При выборе метода учитывают конструктивно-технологические особенности изделий, нормы на контролируемые параметры, точность измерений, требования безопасности проведения испытаний.

В методах испытаний конкретных РЭС должны быть предусмотрены воздействия на изделия объективных факторов (прямых и косвенных) по нормам, установленным НТД. Для большинства испытаний воздействующие факторы и их значения разбивают на степени жесткости, соответствующие различным условиям эксплуатации РЭС. Все испытания должны обеспечивать минимальные затраты при максимальном техническом эффекте.

Ориентировочное распределение затрат по видам испытаний приведено в таблице 1.

3. Порядок выполнения работы

1. Для заданных статистических данных оценить точность измерений.
2. Исключить из результатов измерений резко выделяющиеся значения.
3. Представить экспериментальные данные в виде графиков: полигона, гистограммы, кумулятивной кривой.
4. Используя вероятностную бумагу определить соответствует ли данное распределение результатов нормальному закону распределения.
5. Построить точностную диаграмму, сделать выводы о стабильности параметров в процессе испытаний.

4. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Статистические данные по результатам испытаний.
3. Оценку точности результатов.
4. Оценку резко выделяющихся значений.
5. Экспериментальные данные, представленные в виде графиков: полигона, гистограммы, кумулятивной кривой.
6. Оценку соответствия экспериментальных данных нормальному закону распределения с помощью вероятностной бумаги.
7. Точностную диаграмму.
8. Выводы по методам оценки статистических данных.

5. Контрольные вопросы

- 5.1. От чего зависит точность испытаний?
- 5.2. Что такое точность измерений?
- 5.3. Какие измерения называются равноточными?
- 5.4. Как осуществляется обработка результатов измерений?
- 5.5. Какие критерии применяются для оценки резко выделяющихся значений?
- 5.6. Какие графические методы применяются для представления экспериментальных данных?
- 5.7. Для чего применяется вероятностная бумага?
- 5.8. Как строится точностная диаграмма?

точек между прямыми можно выяснить частоту значению параметра в интервалах 0... 10 % и т.д.

2.4. Точностная диаграмма

Результаты испытаний можно представить в виде точностной диаграммы. На точностной диаграмме по оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат значение показателя качества (измеряемого параметра). На точностной диаграмме изображается зависимость центров группирования (средних значений), средних квадратичных отклонений и полей рассеяния погрешностей параметров качества в зависимости от времени t

На рис. 7 приведен пример точностной диаграммы. В этой диаграмме изменения центров группирования, средних квадратических отклонений и полей рассеяния в интервале $t_0 - t_k$ подчиняются линейному закону. t_0 - это время начала испытаний (первоначальное измерение ПК), t_k - время после проведения испытаний (заключительное измерение параметров качества). Диаграмма позволяет оценить стабильность параметров в процессе испытаний. При стабильном процессе изменений центров группирования, средних квадратических отклонений, полей рассеяния не происходит.

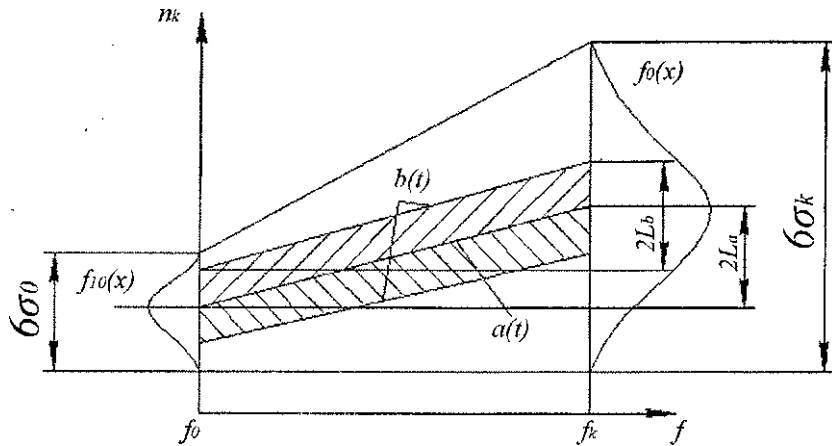


Рис. 7. Точностная диаграмма:
 $a(t)$ - линия изменения средних значения параметра качества,
 $b(t)$ - линия изменения среднего квадратического отклонения,
 штриховая линия - линия изменения полей рассеяния

Таблица 1

Распределение затрат по видам испытаний

Виды испытаний	Стоимость испытаний, % стоимости испытаний	испытаний, % стоим-всех	Виды испытаний	Стоимость испытаний, % стоимости испытаний	испытаний, % стоим-всех
Обнаружение резонансных частот	24		Влагоустойчивость длительная	36	
Виброустойчивость	32		Воздействие повышенного давления	08	
Вибропрочность	50		Воздействие пониженного давления	09	
Ударная прочность	05		Воздействие солнечной радиации	27	
Случайная вибрация	57		Термоудар	45	
Воздействие одиночных ударов	17		Грибоустойчивость	17	
Воздействие линейных ускорений	07		Воздействие соляного тумана	24	
Холодоустойчивость	07		Надежность	75	
Теплоустойчивость	07		Долговечность	49,0	
Термоциклирование	36				
Влагоустойчивость кратковременная	27				

Содержание методики испытаний можно представить в виде схемы (рис.1).

В методике испытаний предусмотрено описание следующих этапов процесса испытаний: проверка устройств для испытаний, подготовка изделий к испытаниям, совместная проверка устройств для испытаний и испытываемого изделия, регистрация результатов испытаний и данных об условиях их проведения.

Проверка устройств для испытаний и подготовка их к испытаниям имеют решающее значение для успешного проведения испытаний. По техническим возможностям устройства для проведения испытаний должны соответствовать этапам жизненного цикла изделия. При этом требования к характеристикам этих устройств повышаются по мере перехода от этапа проектирования РЭС к эксплуатации.

Средства испытаний должны быть аттестованы, должны быть определены их точностные характеристики и пригодность к работе.

Подготовка изделий к испытаниям включает выбор параметров, характеризующих качество изделий, их внешний осмотр и измерение параметров качества. При выборе параметров, подлежащих измерениям и контролю в процессе испытаний, необходимо исходить из требований их максимальной информативности, чувствительности к воздействиям и объективной оценке качества испытываемых РЭС.

Рациональный выбор ограниченного числа информативных параметров, критичных к воздействию объективных факторов, сокращает объем измерений при испытаниях, следовательно, стоимость испытаний.

Перед началом испытаний испытываемые изделия необходимо выдержать в нормальных климатических условиях (температура воздуха $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$, относительная влажность $(45-75)\%$, давление окружающей среды $(0,86-1,06) \cdot 10^5$ Па) в течение времени, необходимого для стабилизации параметров. В нормальных климатических условиях проводят внешний осмотр и первоначальные измерения параметров. Данные первоначальных измерений и контроля внешнего вида необходимо анализировать, чтобы установить соответствие параметров изделий требованиям НТД и отличить особенности каждого изделия (дефекты внешнего вида, неустойчивость электрических параметров).

В некоторых случаях испытываемые изделия необходимо распределить по группам, подгруппам. Такое распределение производят случайным методом. Все изделия до постановки их на испытания нужно промаркировать.

Современная проверка устройств для испытаний и испытываемого изделия должна показать, выполняют ли устройства для испытаний свои функции в процессе испытаний изделий. Такая проверка особенно важна, если устройства впервые применяют для испытаний данных изделий. Проверку устройств для испытаний РЭС проводят либо с макетным образцом, либо с самим изделием. В результате проверки убеждаются в том, что с их помощью можно измерить и контролировать все требуемые по НТД параметры испытываемого изделия в установленной последовательности и с заданной точностью. Параметры устройств сначала измеряют без объекта испытаний при последовательном включении всех частей испытательной системы, а затем с объектом испытаний. Во время этих испытаний проверяют методику калибровки устройств с внесением в нее поправок в ходе испытаний.

для тех же самых изделий (тех же транзисторов) через некоторый интервал времени t их испытания под нагрузкой. Тогда значение параметра каждого изделия (транзистора) до и после испытания на срок службы обозначают точкой в системе рассматриваемых координат.

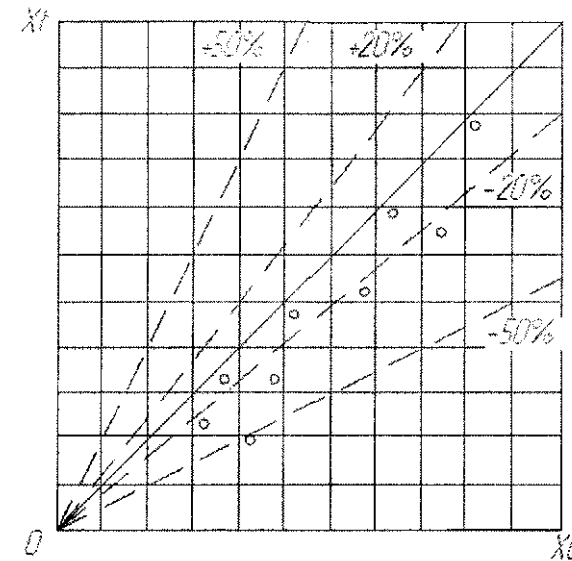


Рис. 6. Поле корреляции

Следовательно, вся партия изделий (транзисторов), прошедших испытание под нагрузкой, отображается разбросанными по координатному полю точками. Совокупность этих точек и образует поле корреляции. Если значения контролируемых параметров после испытания изделий не изменились, то все точки располагаются на прямой, проведенной из начала координат под углом 45° (сплошная линия на рис. 6), - это биссектриса; если же значение параметров уменьшилось по сравнению с измеренными значениями перед постановкой изделий на испытание, то точки располагаются ниже, если увеличились, - то выше ее. Проведя на графике лучи, соответствующие, например 20- и 50%-му изменению параметра за время испытаний, нетрудно подсчитать число точек (изделий), попавших в сектор между двумя лучами: с изменением параметров до 20 % и до 50 % от первоначального значения.

Можно провести лучи из начала координат, соответствующие уменьшению и увеличению параметров на 10, 20, 30, 50 %, путем подсчета

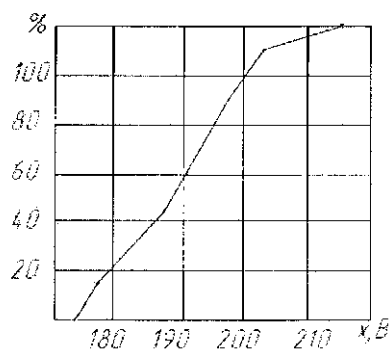


Рис. 4. Расположение экспериментальных точек на вероятностной бумаге

Данные точки были нанесены на вероятностную бумагу для кумулятивной кривой, изображенной на рис. 5.

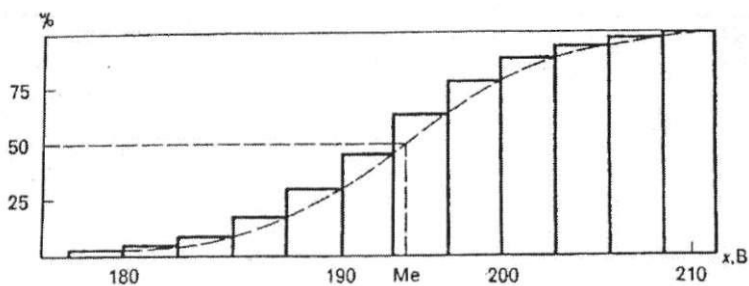


Рис. 5. Кумулятивная кривая

Если точки ложатся на прямую линию, то можно говорить о соответствии статистических данных нормальному распределению.

В нашем примере точки не легли точно на прямую, но оказались довольно близко к ней. Поэтому можно сделать вывод о том, что результаты измерения имеют распределение, близкое к нормальному.

Для наглядности иногда удобно наносить значения ПК непосредственно на поле корреляции (рис. 6).

Для построения поля корреляции по оси абсцисс откладывают начальные значения исследуемого параметра изделий (например, измеренные перед постановкой на испытание значения статического коэффициента усиления по току однотипных транзисторов), а по оси ординат - значения этого параметра



Рис. 1. Схема содержания методики испытаний

Каждый тип РЭС испытывается по своей методике, которая устанавливает порядок, условия, технологию испытаний, точность измерений в процессе испытаний, число циклов испытаний, перечень оборудования для испытаний. Международная электротехническая комиссия МЭК рекомендует нормированную последовательность испытаний: испытания на теплоустойчивость, испытания на влагуустойчивость, кратковременные 1-й цикл, испытания на холодоустойчивость, испытания на пониженное атмосферное давление, испытания на влагуустойчивость в циклическом режиме, остальные циклы. Эта последовательность может использоваться в процессе производства. Перерыв между испытаниями должен быть не более трех суток, за исключением испытаний на влагуустойчивость и холодоустойчивость, где перерыв не должен быть более двух часов.

В таблице 2 приведена схема проведения испытаний керамических конденсаторов.

Таблица 2

Схема испытаний керамических конденсаторов

№ выборки	Состав испытаний	
	1.	50% выборки 1. Прочность выводов 2. Паяемость
	↓ 100% изделий 1. Теплоустойчивость 2. Влагоустойчивость (кратковременные испытания) – 1-й цикл 3. Холодоустойчивость 4. Пониженное атмосферное давление 5. Влагоустойчивость (остальные циклы)	
2.	Влагоустойчивость (длительные испытания)	
3.	Проверка ТКС (температурного коэффициента емкости)	
4.	Испытания на срок службы при повышенной температуре	

3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Провести анализ технического задания для разработки методики испытаний для заданного типа РЭС и условий эксплуатации.

2. Выбрать виды испытаний.

3. Составить схему испытаний.

4. Разработать методику испытаний по следующей форме:

- объект испытаний;
- цель испытаний;
- объем испытаний;
- условия и порядок проведения испытаний;
- материально-техническое обеспечение испытаний;
- метрологическое обеспечение испытаний;
- отчетность.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое методика испытаний?
2. Какие разделы может включать в себя методика испытаний?
3. Какие основные требования предъявляются к методике испытаний?
4. Что такое метод испытаний?
5. Из каких соображений выбирается метод испытаний?

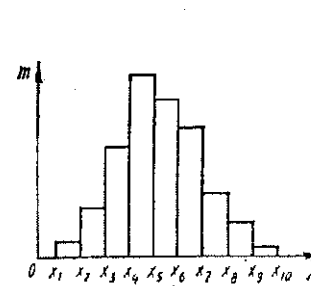


Рис. 2. Гистограмма распределения параметра X

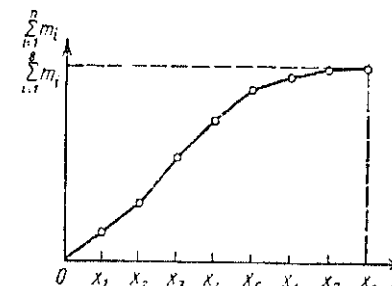


Рис. 3. Кумулятивная (интегральная) кривая распределения параметра X

Кумулятивная кривая (рис. 3) применяется для изображения экспериментальных значений ПК с накопленными частотами в прямоугольной системе координат. Часто кумуляту называют интегральной кривой. Для ее построения составляют упорядоченный дискретный ряд значений ПК с накопленными частотами. Накопленная частота каждого значения параметра получается суммированием всех частот предшествующих его значений. Огиба строится аналогично кумуляте с той лишь разницей, что на ось абсцисс наносят накопленные частоты, а на ось ординат - значения параметра. Для выяснения того, соответствует ли данное распределение результатов измерения ПК нормальному распределению, иногда используют специальную вероятностную бумагу, называемую нормальной вероятностной бумагой. На основе полученных в результате измерений ПК значений абсолютных частот (частоты) подсчитывают накопленные частоты. Накопленная частота каждого значения ПК получается суммированием всех частот, предшествующих значениям параметра. График накопленных частот представляет собой кумулятивную кривую. Кумулятивная кривая строится как для дискретного, так и для непрерывного изменений значений параметра. Накопленные частоты относятся не к серединам интервалов, а к верхним границам каждого из них. Высота последней ординаты соответствует объему всех наблюдений или 100 %. Полученную кумулятивную кривую наносят на вероятностную бумагу. Если точки кумулятивной кривой лежат на одной линии, то закон распределения измеренных ПК нормальный. На вероятностную бумагу можно наносить значения накопленных частот соответствующих одно-, двух- и трехкратному стандартному отклонению значения ПК от среднего значения исследуемого ПК. В результате на вероятностной бумаге имеют место точки (рис. 4).

Если расчетное значение критерия Ирвина больше табличного, то выброс является случайной величиной и данное значение параметра отбрасывают.

$$K_H > K_{HT}.$$

Проверку продолжают до тех пор, пока не будет получено

$$K_H \leq K_{HT}.$$

Исключение резко выделяющихся значений - очень ответственная процедура. Неправомерное отбрасывание таких результатов, как и игнорирование их, может исказить результаты наблюдений и привести к неправильным выводам.

2.3. Графические методы представления экспериментальных данных

В процессе испытаний измеряются показатели качества (ПК). Для наглядного представления тенденции изменения значений исследуемых ПК применяют графические методы, не требующие сложных вычислений. Наиболее распространенными графиками, к которым прибегают при испытаниях ЭС, являются полигоны, гистограммы, кумуляты, огивы и поля корреляции. Полигоны (рис. 1) служат, как правило, для изображения дискретных значений ПК, но могут применяться и для непрерывных (интервальных) изменений параметра. В этом случае ординаты, пропорциональные частотам интервалов t , восставляют перпендикулярно оси абсцисс в точках, соответствующих серединам данных интервалов.

Вершины ординат соединяют прямыми линиями. Для замыкания полученной кривой крайние ординаты соединяют с такими близлежащими серединами интервалов, в которых частоты равны нулю. Гистограмма распределения (рис. 2) служит обычно для отображения интервального изменения ПК. Для получения гистограммы на интервалах, отложенных по оси абсцисс, строят прямоугольники, высоты которых пропорциональны частотами интервалов.

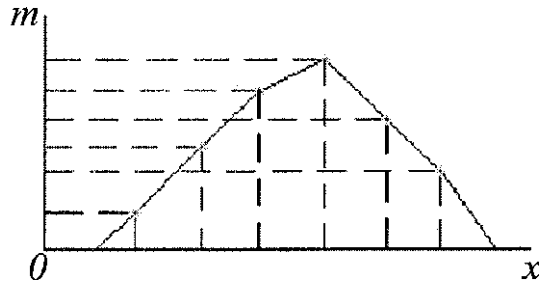


Рис. 1. Полигон распределения параметра X

6. Какие основные этапы процесса испытаний должны быть отражены в методике испытаний?
7. Какие требования предъявляются к средствам испытаний?
8. Из каких соображений выбирают информативные параметры объекта испытаний?
9. Для чего проводится совместная проверка устройств для испытаний и испытуемого изделия?
10. В виде какой схемы можно представить содержание методики испытаний?
11. Что означает нормированная последовательность испытаний?
12. Что такое степени жесткости испытаний?
13. В чем заключается подготовка изделий к испытаниям?
14. Каковы особенности испытаний керамических конденсаторов?

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

1. Цель работы

Провести обработку результатов испытаний радиоэлектронных средств (РЭС) статистическими методами, определить точность измерений, оценить резковыделяющиеся значения.

2. Статистическая обработка результатов испытаний радиоэлектронных средств

2.1. Оценка точности результатов испытаний

Точность испытаний зависит от точности измерений, от точности поддержания режимов испытаний.

Точность измерений - это качество измерений, отражающее близость результатов к истинному значению измеряемой величины.

Под погрешностью измерений понимают отклонение результатов измерения от истинного значения измеряемой величины.

Различают абсолютную и относительную погрешность измерений. Абсолютная погрешность - это погрешность измерений, выраженная в единицах измеряемой величины.

$$\Delta X = X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}$$

где ΔX - абсолютная погрешность;

$X_{\text{изм}}$ - измеренное значение;

$X_{\text{ист}}$ - истинное значение.

Истинное значение обычно не известно, абсолютно точно его измерить нельзя, поэтому на практике измерения всегда приближенны.

Относительная погрешность - это отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеренной величины.

Результат измерения некоторой величины может содержать как случайную, так и систематическую погрешности, поэтому в результате измерений и после обработки этих результатов мы можем получить лишь оценку истинного значения измеряемой величины.

Далее будем полагать, что случайные погрешности измерений являются независимыми и распределены по нормальному закону, а систематическая составляющая погрешности отсутствует или исключена.

Пусть произведено N измерений некоторой величины, истинное значение которой равно X_{\dots} , и в результате получены значения

$$X_1, X_2, \dots, X_N.$$

Таблица 4

Выбор коэффициента Диксона в случае любого числа односторонних экстремальных значений

Объем выборки	Число односторонних экстрем. значений	
	Одно	Два и больше
1	2	3
8-10	r_{11}	r_{20}
11-13	r_{21}	r_{21}
14-30	r_{22}	r_{22}

Однако на практике случайная величина не всегда подчиняется гауссовскому закону или закон распределения ее вообще не известен. В этом случае резко выделяющиеся результаты наблюдения исключаются при помощи критерия Ирвина. Строят ранжированный ряд значений измеряемого параметра и вычисляют значение критерия Ирвина.

$$K_{\text{И}} = \frac{X_{\text{кк}} - X_{(k-1)c}}{S}; \quad 1 \leq k \leq n, \quad (12)$$

где $X_{\text{кк}}$ - резко выделяющееся значения параметра; $X_{(k-1)c}$ - предыдущее значение параметра; S - оценка среднеквадратичного отклонения параметра;

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (13)$$

где \bar{X} - выборочное среднее значение параметра; n - объем выборки.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (14)$$

При заданной доверительной вероятности P и по имеющемуся n по таблице 5 определяем табличное значение критерия Ирвина $K_{\text{иг}}$ (Приложение К).

Таблица 5

Табличные значения критерия Ирвина

n	$K_{\text{дл}}$		n	$K_{\text{иг}}$	
	P=0.95	P=0.99		P=0.95	P=0.99
2	2,8	3,7	50	1,1	1,5
3	2,2	2,9	100	1,0	1,5
10	1,5	2,0			
20	1,3	1,8			
30	1,2	1,7			

Таблица 2

Значение коэффициента Диксона для различного объема при наличии одного одностороннего экстремального значения

Число изделий в выборке	Коэффициент Диксона r_D	Значение коэффициента Диксона	
		Для наим. экстрем. значения параметра критерия годности X	Для наибол. экстрем. значения параметра критерия годности X
3-7	r_{10}	$\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$
8-10	r_{11}	$\frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_{n-1} - X_2}$
11-13	r_{21}	$\frac{X_3 - X_1}{X_{n-1} - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_{n-1} - X_2}$
14-30	r_{22}	$\frac{X_3 - X_1}{X_{n-2} - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_{n-1} - X_3}$

При наличии двух или более односторонних экстремальных значений коэффициент Диксона подсчитывается в соответствии с таблицей 3

Таблица 3

Значение коэффициента Диксона при наличии двух или более односторонних экстремальных значений

Число изделий в выборке	Коэффициент Диксона r_D	Значение коэффициента Диксона	
		Для наим. экстрем. значения параметра критерия годности X	Для наибол. экстрем. значения параметра критерия годности X
3-10	r_{20}	$\frac{X_3 - X_1}{X_n - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_1}$

В случае любого числа односторонних экстремальных значений коэффициент Диксона выбирают из таблицы 4.

Результаты ряда измерений могут быть равноточными, например, при использовании одного и того же измерительного прибора, и не равноточными - при измерениях одной и той же величины приборами разного класса точности или при изменении условий измерения. В обоих случаях среднее квадратичное отклонение (СКО) погрешности измерения σ_x может быть, как известно (например, если известен класс точности приборов, а влиянием дестабилизирующих факторов незначительно), так и неизвестно. В последнем случае, чтобы корректно судить о достоверности полученных результатов, СКО погрешности измерения необходимо оценить.

В качестве оценки \hat{X} истинного значения $X_{ист}$ измеряемой величины принимают среднее значение \bar{X} ряда ее измерений. При равноточных измерениях

$$\hat{X} = \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

При неравноточных измерениях вычисляют среднее взвешенное

$$\hat{X} = \frac{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_N X_N}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_N} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i X_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (2)$$

где $\alpha_i = 1/\sigma_i^2$; σ_i^2 - дисперсия погрешности i-го результата измерения.

Если при равноточных измерениях СКО погрешности неизвестно, его оценивают по формуле

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \hat{X})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Соотношение (3) дает оценку СКО одиночного измерения. Если за результат измерения принято среднее значение \bar{X} , то для него СКО погрешности будет в \sqrt{N} раз меньше СКО погрешности одиночного измерения, то есть

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_{x_i} / \sqrt{N} \quad (4)$$

Соответственно, при известном СКО одиночного измерения при равноточных измерениях имеем

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_{x_i} / \sqrt{N} \quad (5)$$

а СКО погрешности средне взвешенного

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \alpha_i}} \quad (6)$$

Оценки (1)-(5), выражаемые одним числом, называются точечными оценками. Поскольку оценки (1) и (2) принимают за действительное значение измеряемой величины, возникает вопрос о их достоверности. Судя об этом по вероятности того, что отклонение $|X_{\text{ист}} - \hat{X}|$ будет меньше некоторой заданной величины ε .

$$P = p(|X_{\text{ист}} - \hat{X}| < \varepsilon) \quad (7)$$

При этом интервал $\hat{X} \pm \varepsilon$ называют доверительным интервалом, в котором с доверительной вероятностью P (надежностью оценки) лежит $X_{\text{ист}}$.

При известном СКО $\sigma_{\bar{x}}$ и заданной доверительной вероятности P величину ε находят как

$$\varepsilon = \pm t(P) \sigma_{\bar{x}}, \quad (8)$$

где параметр $t(P)$ определяется по таблице распределения Лапласа по доверительной вероятности P.

Если же СКО погрешности не известно и используется его оценка $\sigma_{\bar{x}}$ то

$$\varepsilon = \pm t(P, N) \sigma_{\bar{x}}, \quad (9)$$

где параметр $t(P, N)$ находят по таблице распределения Стьюдента по доверительной вероятности P и числу степеней свободы $f=N-1$; N-число измерений.

Например, пусть при измерении сопротивления цепи сделано 11 равнооточных измерений: (275, 273, 275, 275, 276, 278, 274, 276, 275, 272, 274) Ом.

Если СКО погрешности измерительного прибора известно и равно 1,5 Ом, то для среднего значения $\bar{R} = 274,81$ Ом, используя (5), СКО $\sigma_{\bar{R}} = 0,14$ Ом.

Найдем с какой доверительной вероятностью истинное значение будет лежать в интервале

$$\bar{R} \pm 3\sigma_{\bar{R}} = (274,81 \pm 0,42) \text{ Ом.}$$

Доверительную вероятность находим по таблице распределения Лапласа по параметру $t(P) = \varepsilon / \sigma_{\bar{R}} = 3$, получаем $P = 0,997$.

Если же СКО погрешности измерения неизвестно, необходимо дать оценку. Используя (3) и (4), получим

$$\sigma_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{(\bar{R} - R_i)^2}{N(N-1)}} = 0,14 \text{ Ом.}$$

При этом случайно оказалось, что оценка СКО имеет ту же величину, что и при известном СКО измерительного прибора. Однако посмотрим, какова же доверительная вероятность того, что $X_{\text{ист}}$ лежит в пределах $\bar{X} \pm 3\sigma_{\bar{X}}$. Для этого по параметру $t(P, N) = 3$ и числу степеней свободы $f = 11 - 1 = 10$ по таблице распределения Стьюдента найдем $P = 0,986$. Таким образом, для равного доверительного интервала при известном СКО погрешности измерения получаем менее достоверный результат измерения.

На практике, как правило, определяют доверительный интервал при заданной доверительной вероятности. Так, для рассматриваемого примера, задавались $P = 0,95$, при известном СКО погрешности, получаем доверительный интервал

$$R \pm t(0,95) \sigma_{\bar{x}} = (274,81 \pm 2,01 * 0,14) \text{ Ом} = (274,81 \pm 0,28) \text{ Ом.}$$

При неизвестном СКО погрешности

$$\bar{R} \pm t(0,95, 11) \sigma_{\bar{x}} = (274,81 \pm 2,228 * 0,14) \text{ Ом} = (274,81 \pm 0,31) \text{ Ом}$$

Если при равнооточных измерениях и известном СКО погрешности одиночного измерения σ_x , необходимо провести оценку $X_{\text{ист}}$ с погрешностью ε и доверительной вероятностью P, то для этого необходимо выполнить

$$N \geq \left[\frac{t(P)}{\varepsilon} \right]^2 * \sigma_x^2, \quad (10)$$

измерений, где $t(P)$ находится по таблице распределения Лапласа. При этом в качестве результата измерений берется среднее значение.

Если же СКО не известно, то необходимое число измерений N в зависимости от доверительной вероятности P и отношения $q = \varepsilon / \sigma_x$, где (σ_x , определяется по выражению (3)) можно определить из таблицы 1

Таблица 1

Число измерений в зависимости от доверительной вероятности

q	P		
	0,9	0,95	0,99
1	5	7	11
0,5	13	18	31
0,4	19	27	46
0,3	32	46	78
0,2	70	99	171
0,1	273	387	668

2.2. Оценка резко выделяющихся значений

Существует несколько статистических критериев, устанавливающих пределы для исключения резко выделяющихся значений случайной величины. Если измерения контролируемого параметра подчиняются гауссовскому закону, наиболее распространенным является критерий Диксона. При использовании этого критерия вычисляют коэффициент Диксона, построив ранжированный ряд значений измеряемого параметра (таблица 2).

Полученный по приведенным формулам коэффициент Диксона сравнивается с табличным значением при заданной вероятности (Приложение К). Экстремальный выброс значения параметра является не случайным, если расчетное значение коэффициента Диксона r_d меньше табличного r_{dt}

$$r_d < r_{dt}. \quad (II)$$