

Государственный комитет СССР по народному образованию

А. В. ЕЛАНЦЕВ, В. В. МАРКЕЛОВ

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ  
И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Часть I

Издательство МГТУ  
1990

Государственный комитет СССР по народному образованию

А.В. Еланцев, В.В. Маркелов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ  
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ  
Часть I. Испытание электронной аппаратуры  
Методические указания

Под редакцией В.И. Велова



Издательство МГТУ

1990

ББК 32.844  
Е48

Е48 Еланцев А.В., Маркелов В.В. Автоматизированный контроль и испытания электронной аппаратуры: Метод. указания. Ч. I. Испытание электронной аппаратуры /Под ред. В.И.Белова. - М.: Изд-во МГТУ, 1990. - 52 с., ил.

ISBN 5-7038-0431-0

Данные методические указания открывают цикл работ по курсам "Специальная технология электронных вычислительных средств (ЭВС)" и "Специальная технология радиоэлектронных средств (РЭС)". Они познакомят студентов с методами и средствами контроля, технического диагностирования и испытаний ЭВС и РЭС, их автоматизации с использованием ЭВМ различного уровня и микропроцессоров, алгоритмизации и оптимизации процессов контроля и технологического диагностирования.

Предназначены для студентов научно-технических комплексов "Информатика и системы управления" и "Радиоэлектроника и лазерная техника".

Табл. 32. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

Рецензент А.В.Фролов

ББК 32.844

Редакция заказной литературы

Алексей Викторович Еланцев, Виктор Васильевич Маркелов  
Автоматизированный контроль и испытания  
электронной аппаратуры

Заведующая редакцией Н.Г.Ковалевская  
Редактор Н.Н.Филимонова  
Корректор Л.И.Малютина

ISBN 5-7038-0431-0

© МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1990.

Подписано в печать 25.09.90. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 2.  
Печ. л. 3,25. Усл. печ. л. 3,01. Уч.-изд. л. 2,98. Тираж 500 экз.  
Заказ № 1011 Бесплатно. Изд. № 153.

Издательство МГТУ, типография МГТУ.  
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

## I. Методы и виды испытаний электронной аппаратуры

Достижение высоких эксплуатационных показателей узлов и устройств электронной аппаратуры (ЭА) во многом определяется методами и средствами контроля и испытаний в процессе их изготовления. Контроль и испытания составляют 25% от всех работ, а затраты на них - 4...30% от всех затрат на производство ЭА [1]. Зависимость между стоимостью этих работ при сохранении качества ЭА и частотой неисправностей должна быть оптимальной (рис. 1) [2].

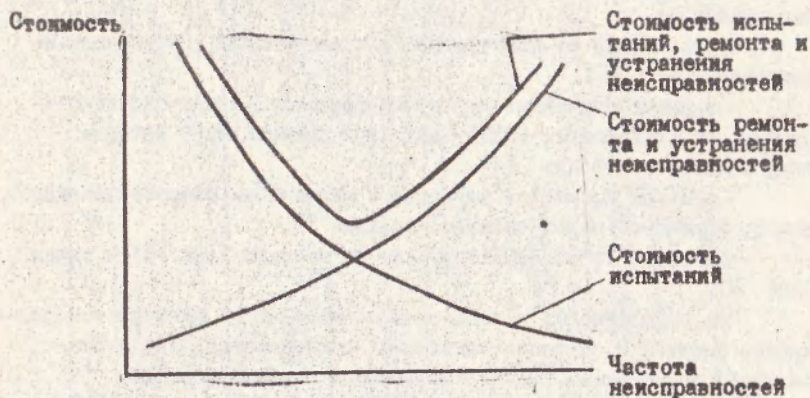


Рис. 1

Под испытаниями понимают экспериментальные определения количественных и качественных характеристик свойств объекта, возникающих как результат заданного воздействия при его функционировании, при моделировании объекта и воздействий [3].

Можно выделить три основные группы задач, которые решаются во время испытаний:

- получение эмпирических данных, необходимых для проектирования ЭА;
- установление соответствия изделия проектным требованиям;
- определение предельного состояния ЭА.

При этом цели испытаний могут быть разные:

- экспериментальное подтверждение теоретических расчетов, принятых допущений и гипотез, заданных показателей качества разработанной ЭА, работающей в условиях, близких к эксплуатацион-

ным, а также получение оценок резервов повышения показателей качества и надежности конструктивно-технологического варианта изделия;

- контроль условий производства, соблюдения исполнителями требований технической документации;

- устранение дефектов взаимодействия различных изделий в составе системы.

В результате испытаний выявляются:

- недостатки конструкции и технологии изготовления ЭА, которые не позволяют ей выполнить целевую функцию в условиях эксплуатации;

- отклонения от конструкции или технологии, допущенные на производстве;

- скрытые случайные дефекты материалов, элементов конструкции, не поддающиеся обнаружению при существующих методах технического контроля;

- резервы повышения качества и надежности разрабатываемого конструктивно-технологического варианта ЭА.

Испытания ЭА классифицируются по методам (рис. 2) и видам (рис. 3).

При лабораторных и стендовых испытаниях ЭА применяются следующие способы проведения испытаний: последовательный, параллельный, последовательно-параллельный и комбинированный.

При последовательном способе ЭА последовательно подвергаются всем предусмотренным программой видам испытаний. При параллельном несколько выборок ЭА подвергаются одновременному воздействию различных внешних факторов. При последовательно-параллельном способе все изделия ЭА разбиваются на несколько групп, которые испытываются параллельно, но в каждой группе испытания проводятся последовательным способом. Один из примеров возможной разбивки видов испытаний на группы и последовательность их проведения в каждой группе приведены в табл. 1 [4]. При комбинированных испытаниях на ЭА одновременно воздействуют несколько внешних факторов. Сочетаться их совместные воздействия могут так, как это показано в табл. 2. В ней приняты следующие обозначения: 1 - механический износ; 2 - ухудшение работоспособности; 3 - механический износ и ухудшение работоспособности; 4 - взаимосвязанные факторы; 5 - один фактор влияет на другой; 6 - взаимослабляющие факторы; 7 - несовместимые факторы; х - сочетание факторов не рассматривается. Знак "минус" означает, что совместное действие факторов уменьшает их влияние.

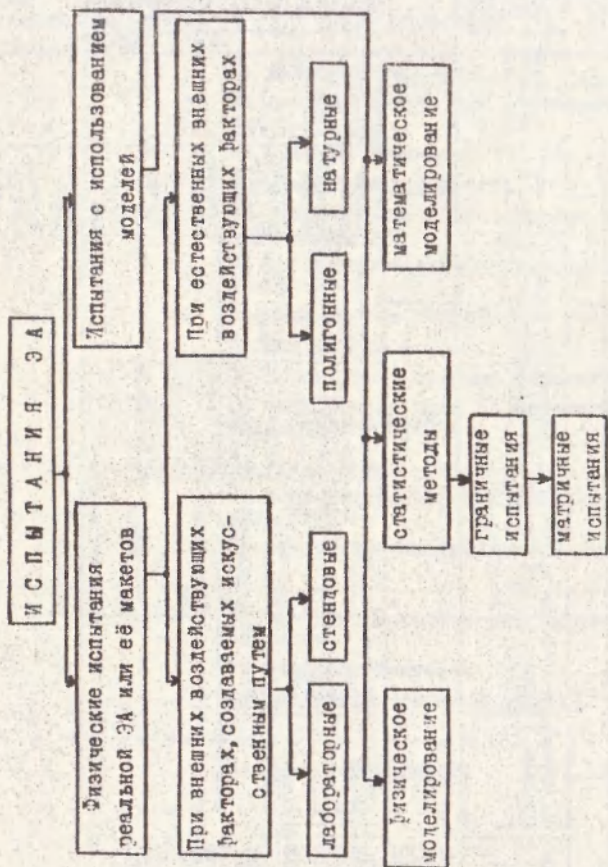


Рис. 2

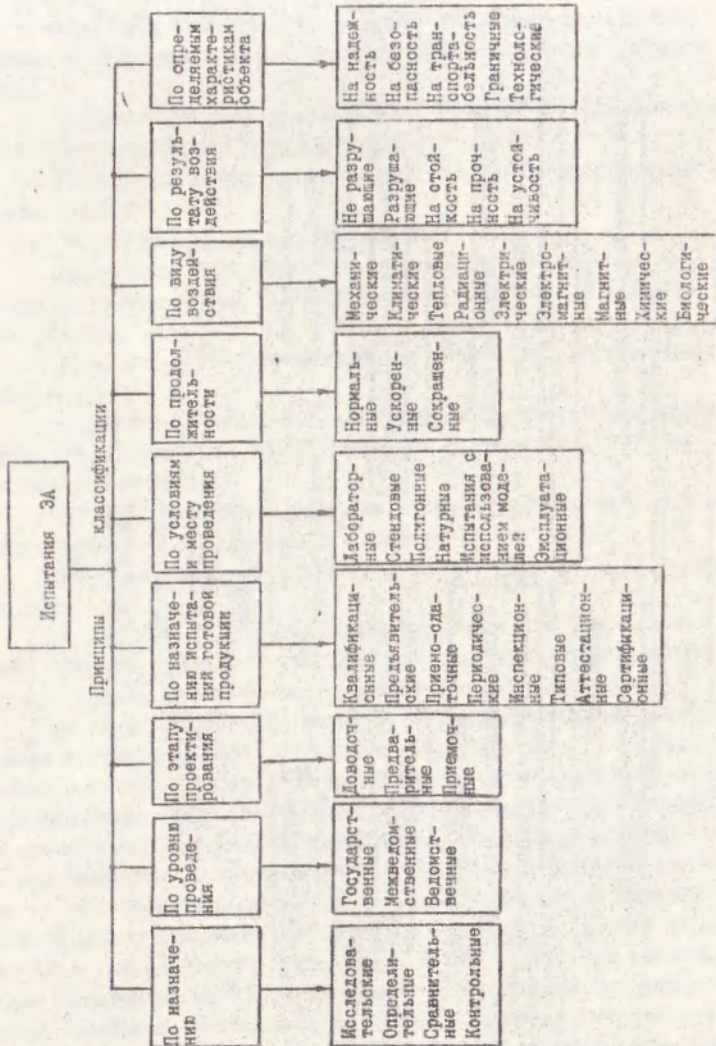


Рис. 3

Таблица I

Группа испытаний	Последовательность испытаний	Вид испытаний
I	1	На виброустойчивость
	2	На вибропрочность при длительном воздействии
	3	На ударную прочность
	4	На ударную устойчивость
	5	На устойчивость к воздействию центробежного ускорения
	6	На воздействие одиночных ударов с большим ускорением
	7	На циклическое воздействие температуры
	8	На высотность
	9	На воздействие солнечной радиации
	10	На воздействие пыли (пылеустойчивость и пылезащитенность)
II	1	На теплостойчивость при длительном воздействии
	2	На воздействие морского тумана
III	1	На влагуустойчивость при длительном воздействии
	2	На хладостойчивость
	3	На воздействие инея и росы
IV	I	На грибоустойчивость

## 2. Программа и методика испытаний ЭА

Основным организационно-методическим документом при испытаниях ЭА является программа. Она регламентирует: цели испытаний, объем и методику проводимых экспериментов; порядок, условия, место и сроки проведения испытаний; ответственность за обеспечение и проведение испытаний; ответственность за оформление протоколов и отчетов.



Воздействие внешних факторов	Повышенная темпера- тура	Пониженная темпера- тура	Влажность	Дождь	Туман (морской)	Солнечная радиация	Грибообра- зование	Пыль и песок	Низкое ат- мосферное давление	Ветер	Загрязне- ние воз- духа	Соляной туман	Вибрация	Звуковое давление	Удар	Ионизиру- ющие газы
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Повышенная температура	7															
Влажность	I	I														
Дождь	X	I-	4													
Туман (морской)	6	X	4	2												
Солнечная радиация	I	6	I-	7	6											
Грибообразование	4	6	4	4	4	6										
Пыль и песок	6	I-	I-	X	I-	I-	X									
Низкое атмосферное давление	I	3-	I	X	X	I-	X	X								
Ветер	I-	3	X	3	6	I	X	3	6							
Загрязнение воздуха	X	X	I	5	I	X	X	I-	X	5						
Соляной туман	I	6	6	6	I-	I	X	I-	X	I	X					
Вибрация	I	I	I-	X	X	I	X	I-	I-	X	X	I-				

Окончание табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Звуковое давление	I	I-	X	X	X	X	X	X	X	I-	X	X	X	I		
Удар	I	I	X	X	X	X	X	X	I-	X	X	X	X	X		
Ионизирован- ные газы	I	6	X	X	X	I	6	X	5	X	X	X	X	X	X	
Космическая радиация	X	X	X	X	X	5	X	X	3-	X	X	X	X	X	X	I-

Общие цели контрольных, сравнительных и определительных испытаний сформулированы в ГОСТ 16504-81 "Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения", конкретизированы в ГОСТ 24812-81 "Испытания изделий на воздействие механических факторов. Общие положения" и в ГОСТ 24813-81 "Испытания изделий на воздействие климатических факторов. Общие положения".

Цель исследований тесно связана с их назначением. Для формулировки наименования испытаний (см. рис. 3) необходимо определить по цели их проведения, к какой из групп (исследовательские, контрольные, сравнительные, определительные) их можно отнести. Затем надо определить, к какому уровню относятся испытания (государственному, межведомственному, ведомственному). Необходимо также установить отношение испытаний либо к этапам разработки продукции (доводочные, предварительные, приемочные), либо к испытаниям готовой продукции (квалификационные, предъявительские, приемосдаточные, периодические, инспекционные, типовые, аттестационные, сертификационные). Условия и место проведения испытаний также отражаются в их наименовании, как и продолжительность, вид, результат воздействия, а также проверяемая характеристика объекта. Наименование испытаний может включать два и более признака из числа вышеперечисленных, например, межведомственные периодические лабораторные испытания на транспортабельность ЭА.

В соответствии с ГОСТ 16504-81 по результатам испытаний объекта принимается то или иное решение: о его годности или о том, что изделие надо забраковать, о необходимости его предъявления на следующие испытания или о возможности серийного выпуска и т.п. В программе испытаний необходимо в краткой форме изложить информацию об объекте (срок его изготовления; номера сопроводительного паспорта для заводских изделий, особенности конструкции и технологии изготовления и т.п.), а также параметры, характеристики объекта, подлежащие прямому или косвенному измерению, критерии годности изделия ЭА, требования его к внешнему виду и электрическим параметрам.

Объем и методика испытаний – разделы программы, в которых даются сведения о количестве испытываемых изделий, общей продолжительности испытаний при различных воздействующих факторах, о периодичности, составе и последовательности испытаний, о парамет-

рах испытательных режимов, пределах изменения питающих напряжений и продолжительности работы ЭА при этих напряжениях и т.п.

В плане испытаний указываются необходимые работы, такие как изготовление образцов, их приемка ОТК, измерение и определение параметров, подготовка испытательного оборудования, проведение испытаний, оформление результатов, согласование и утверждение протокола испытаний и т.п.

Вторым организационно-методическим документом является методика испытаний ЭА. В ней излагаются: метод, средства и условия испытаний, принцип отбора проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной из нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды.

Методика определяет процесс проведения испытаний. Она может быть изложена не в самостоятельном документе, а в программе испытаний, или являться составной частью научно-технической документации на изготавливаемую ЭА.

Основным требованием к методике является обеспечение максимальной эффективности процесса испытаний и минимально возможной погрешности полученных результатов. Она включает требования к методу и условиям испытаний и техническим средствам.

Метод испытаний - это совокупность правил применения определенных принципов и средств для осуществления испытаний. При выборе метода устанавливаются конструктивно-технологические особенности изделия, нормы контролируемых параметров и необходимой точности измерения, требования безопасности проведения работ.

Средства испытаний - это технические устройства, вещества, материалы. К ним, в первую очередь, относится оборудование, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий эксплуатации. Методика испытаний должна содержать описание следующих этапов процесса испытания: проверку испытательного оборудования, подготовку испытываемых изделий ЭА, совместную проверку испытательного оборудования и испытуемого изделия ЭА, регистрацию результатов испытаний и данных об условиях их проведения.

### 3. Механические и климатические испытания ЭА

В соответствии с ГОСТ 25.57.406-81 "Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний" механические и

климатические испытания проводят с целью проверки соответствия изделий ЭА требованиям, установленным в техническом задании, стандартах и технических условиях на изделия ЭА конкретных классов и типов. Испытаниям подвергаются ЭА или отдельные их части, число которых устанавливает в технических условиях (ТУ) на изделия и в программе испытаний. Перечень испытаний, рекомендуемых при разработке, освоении и серийном производстве, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер испы- тания	Вид испытания	Необходимость проведе- ния испытаний	
		На опытных об- разцах, образ- цах из устано- вочной серии, на изделиях серийного про- изводства в случае измене- ния их конст- рукции, техно- логии или ма- териалов	На из- делиях серий- ного произ- водст- ва, прове- ряемых перио- дичес- ки
1	2	3	4
100	Испытание по определению резонансных частот конструкции	+ *	-
101	Испытание на проверку отсутствия резонансных частот конструкции в заданном диапазоне частот	+	-
102	Испытание на устойчивость при воздействии синусоидальной или широкополосной случайной вибрации (испытание на виброустойчивость)	+	н
103	Испытание на прочность при воздействии синусоидальной или широкополосной случайной вибрации длительное (испытание на вибропрочность длительное)	+	н
103	Испытание на прочность при воздействии синусоидальной вибрации кратко временное (испытание на вибропрочность кратковременное)	-	н
104	Испытание на прочность при воздействии механических ударов многократного действия (испытание на ударную прочность)	+	н
105	Испытание на устойчивость при воздействии механических ударов многократного действия (испытание на ударную устойчивость)	+	н

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
106	Испытание на воздействие механических ударов одиночного действия (испытание на воздействие одиночных ударов)	+	н
107	Испытание на воздействие линейного ускорения	+	-
108	Испытание на воздействие акустического шума	+	-
109	Испытание выводов на воздействие растягивающей силы	+	н
110	Испытание гибких проволочных и ленточных выводов на изгиб	+	н
111	Испытание гибких лепестковых выводов на изгиб	+	н
112	Испытание гибких проволочных выводов на скручивание	+	н
113	Испытание резьбовых выводов на воздействие крутящего момента	+	н
114	Испытание на воздействие синусоидальной вибрации с повышенным значением амплитуды ускорения	+	-
201	Испытание на воздействие повышенной рабочей температуры среды	+	+
202	Испытание на воздействие повышенной предельной температуры среды	+	-
203	Испытание на воздействие пониженной рабочей температуры среды	+	+
204	Испытание на воздействие пониженной предельной температуры среды	+	-
205	Испытание на воздействие изменения температуры среды	+	н
206	Испытание на воздействие инея и росы	+	-
207	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха, длительное или ускоренное	+	н
208	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха, кратковременное	н	н
209	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	+	н
210	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	+	н
211	Испытание на воздействие солнечного излучения	+	-
212	Испытание на воздействие динамической пыли (песка)	+	-
213	Испытание на воздействие статической пыли (песка)	+	-

1	2	3	4
214	Испытание на воздействие плесневых грибов	+	-
215	Испытание на воздействие соляного тумана	+	-
216	Испытание на воздействие статического гидравлического давления	+	н
217	Испытание на водонепроницаемость	+	н
218	Испытание на воздействие дождя	+	-
219	Испытание на каплезащищенность	+	-
220	Испытание на водозащищенность	+	-
301	Испытание на воздействие атмосферы, содержащей сернистый газ	+	-
302	Испытание на воздействие сред заполнения	н	-
401	Испытание на герметичность	+	н
402	Испытание на способность к пайке	+	н
403	Испытание на теплостойкость при пайке	+	н
404	Проверка соответствия габаритным, установочным и присоединительным размерам	+	+
405	Проверка внешнего вида	+	+
406	Проверка массы	+	+
407	Контроль качества маркировки	+	+
408	Испытание маркировки на прочность	+	+

Вид испытания выбирают из табл. 3, руководствуясь предъявляемыми требованиями к конструктивным особенностям ЭА. Виды механических испытаний обозначены номерами 101...199, климатических - 201...299; испытаний на соответствие конструктивно-технологическим требованиям - 401...499. В табл. 3 приняты следующие обозначения: "+" - испытание проводят, если соответствующие требования установлены в ТУ на изделие и в программе испытаний; "-" - испытание не проводят; "н" - испытание проводят, если это предусмотрено в ТУ на изделие и в программе испытаний; "+\*" - испытания проводят один раз при разработке изделия, а также при изменении конструкции, если это изменение влияет на значение резонансных частот.

Испытания проводят в нормальных климатических условиях, которые характеризуются следующими значениями:

температура воздуха 15...35° С;

относительная влажность воздуха 45...80 %;

атмосферное давление 84...106 кПа (630...800 мм рт.ст.).

Испытания последовательно включают следующие операции:  
 начальная стабилизация (если требуется);  
 начальная проверка и измерения (если требуется);  
 выдержка;  
 конечная стабилизация (если требуется);  
 заключительные проверки и измерения (если требуется).

Рассмотрим особенности проведения основных испытаний, пред-варительно дав краткую характеристику внешним факторам, действующим на ЭА в процессе ее эксплуатации.

В зависимости от условий эксплуатации ЭА подразделяют на наземную, корабельную и самолетную, к которой также относят космическую. Воздействия внешних условий на перечисленные виды ЭА существенно различаются (табл. 4). Предельные значения параметров внешних условий определяют степень (группу) жесткости. Численные значения этих параметров служат критерием для проверки разработанной и подвергаемой испытаниям конструкции ЭА.

Таблица 4

Внешние воздействующие факторы	Пределы измерения воздействующего параметра на ЭА		
	наземную	корабельную	самолетную
I	2	3	4
<b>Вибрация:</b>			
частота, Гц	10-70	0-120	5-2000
ускорение	1-4	1,5-2	до 20
<b>Ударные нагрузки (многократные):</b>			
ускорение	10-15	15	6-12
длительность, мс	5-10	5-10	до 15
<b>Одиночные удары:</b>			
ускорение	5-1000	до 1000	-
длительность, мс	0,5-10	0,6-2	-
<b>Температура максимальная:</b>			
рабочая, К	323	203-333	333-473
предельная, К	333	338	353-523
<b>Температура минимальная:</b>			
рабочая, К	233	233	213
предельная, К	223	223	213
<b>Влажность относительная:</b>			
насыщенность, %	80-93	98-100	93-100



Окончание табл. 4

I	2	3	4
температура, К	313	308-323	323-333
Акустические шумы:			
уровень, дБ	85-125	75-140	130-150
частота, Гц	50-1000	50-1000	50-1000
Атмосферное давление:			
максимальное, Па	$10,6 \cdot 10^4$	$10,6 \cdot 10^4$	$10,6 \cdot 10^4$
минимальное, Па	$5,7 \cdot 10^4$	$8,8 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^4$
Линейное ускорение:			
замедление	2-4	-	4-6
центробежное	2-5	-	4-10
Ветровая нагрузка:			
рабочая, м/с	до 50	до 50	-
предельная, м/с	до 70	до 70	-

Влияние видов механических и климатических факторов (степени жесткости), отражающих условия эксплуатации ЭА, на значения характеристик приведено в табл. 5, 6, 7.

В табл. 8 даны допустимые значения параметров действующих факторов при определенных климатических условиях с учетом конкретных способов монтажа электрорадиоэлементов в ЭА и условий ее эксплуатации. Здесь использованы следующие обозначения: "+" - фактор присутствует; "-" - фактор отсутствует; "х" - фактор может иметь место.

Место размещения ЭА обозначено: 1 - изделия наружного монтажа ЭА размещаются на открытом воздухе; 2 - изделия наружного монтажа ЭА размещаются под навесом, а внутреннего монтажа ЭА - на открытом воздухе; 3 - изделия ЭА размещаются в помещениях без искусственного регулирования климатических условий; 4 - изделия ЭА размещаются в помещениях с искусственным регулированием климатических условий.

#### Испытания по определению резонансных частот конструкции

Цель данных испытаний - проверка механических свойств ЭА и получение исходной информации для выбора методов испытаний на вибропрочность, виброустойчивость, на воздействие акустического шума, а также для выбора длительности действия ударного ускорения.

Таблица 5

Внешние воздействующие факторы	Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение		Длительность удара, мс	Степень жесткости
		$\ddot{x}$	м.с. <sup>-2</sup>		
I	2	3	4	5	6
	1-35	0,5	(4,9I)	-	I
	1-60	I	(9,8I)	-	II
	1-60	2	(19,6)	-	III
	1-80	5	(49, I)	-	IV
	1-100	I	(9,8I)	-	V
	1-200	5	(49, I)	-	VI
	1-200	10	(98, I)	-	VII
	1-600	5	(49, I)	-	VIII
	1-600I	10	(98, I)	-	IX
	1-1000	10	(98, I)	-	X
	1-2000	5	(49, I)	-	XI
	1-2000	10	(98, I)	-	XII
	1-2000	15	(147, 2)	-	XIII
	1-2000	200	(196, 2)	-	XIV
	1-3000	20	(196, 2)	-	XV
	1-5000	10	(98, I)	-	XVI
	1-5000	20	(196, 2)	-	XVII
	1-5000	30	(294, 3)	-	XVIII
	1-5000	40	(392, 4)	-	XIX
	100-5000	40	(392, 4)	-	XX

Виртуационные нагрузки

	1	2	3	4	5	6
Ударные нагрузки	Многократные	-	15	147,2	2-15	I
		-	40	392,4	2-10	II
		-	75	736	2-6	III
		-	150	1472	1-3	IV
	Одиночные	-	4	39,2	40-60	I
		-	20	196,2	20-50	II
		-	75	736	2-6	III
		-	150	1472	1-3	IV
		-	500	4905	1-2	V
		-	1000	9810	0,2-1	VI
		-	1500	14720	0,2-0,5	VII
		-	3000	29430	0,2-0,5	VIII
	Линейные нагрузки	-	10	98,1	-	I
		-	25	245	-	II
-		50	491	-	III	
-		100	981	-	IV	
-		150	1472	-	V	
-		200	1962	-	VI	
-		500	4905	-	VII	

Таблица 5

Внешние воздействующие факторы		Значения		Степень жесткости
		°С	к	
I		2		3
Температура воздуха или другого газа при эксплуатации	Верхнее значение	+40	313	I
		+45	318	II
		+50	323	III
		+55	328	IV
		+60	333	V
		+70	343	VI
		+85	358	VII
		+100	373	VIII
		+125	298	IX
		+155	428	X
	+200	473	XI	
	+250	523	XII	
	+315	588	XIII	
	+400	673	XIV	
	+500	773	XV	
	Нижнее значение	+1	274	I
		-5	268	II
-10		263	III	
-25		248	IV	
-30		243	V	
-40		233	VI	

1	2		3
	-45	228	УП
	-60	213	УШ
	-85	188	IX
-----			
Пониженное атмосферное давление	мм рт.ст	Па	
	525	70000	I
	400	53600	II
	200	26630	III
	90	12000	IV
	15	2000	У
	5	666	УГ
	1	133,32	УП
	10 <sup>-1</sup>	13,33	УШ
	10 <sup>-2</sup>	1,333	IX
10 <sup>-6</sup>	0,00013	X	
-----			
Повышенное давление воздуха или другого газа	кгс/см <sup>2</sup>	Па	
	1,5	148599	I
3	297198	II	

Таблица 7

Внешний воздей- ствующий фактор	Верхнее значение	Среднемесяч- ное значение в наиболее теплый и влажный период	Продолжи- тельность действия в течение года	Сте- пень жест- кости
Относит- ельная влажность	80% при 25°C и более низ- ких температурах без кон- денсации влаги	65% при 20°C	12	I
	98% при 25°C и более низ- ких температурах без кон- денсации влаги	80% при 20°C	2 6	II III
	100% при 25°C и более низ- ких температурах с конден- сацией влаги	80% при 20°C	6	IV
	100% при 25°C и более низ- ких температурах с конден- сацией влаги	90% при 20°C	12	V
	98% при 35°C и более низ- ких температурах без кон- денсации влаги	80% при 27°C	3 12	VI VII
	100% при 35°C и более низ- ких температурах с конден- сацией влаги	90% при 27°C	12	VIII

Таблица 3

Внешний воздействи- ющий фактор	Климат в зоне эксплуатации																			
	Умеренный				Холодный				Тропический				На суше				На суше и море			
	Место размещения ЭА																			
	I	2	3	4	I	2	3	4	I	2	3	4	I	2	3	4	I	2	3	4
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Температура воздуха $t$ , С:																				
верхнее значение	+40	+40	+40	+35	+40	+40	+40	+35	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45
нижнее значение	-40	-40	-40	+1	-60	-60	-60	+1	-10	-10	-10	+1	-60	-60	-60	+1	-60	-60	-60	-10
Относи- тельная влажность, при $t$ , °С, (верхнее значение)	100	100	98	80	100	100	98	80	100	100	98	98	100	100	98	98	100	100	98	98
Интеграль- ная плот- ность по- тока сол- нечной радиации	1125	-	-	-	1125	-	-	-	1125	-	-	-	1125	-	-	-	1125	-	-	-
Макс. воз- можная темпера- тура чер- ной мато- вой по- верхности	+80	-	-	-	+80	-	-	-	+80	-	-	-	+80	-	-	-	+80	-	-	-

Окончание табл. 8

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Колебания температуры воздуха за 8 ч, °С	+40	+30	+20	-	+40	+30	+20	-	+40	+30	+20	-	+40	+30	+20	-	+40	+30	+20	-
Интенсивность дождя, мм/мин (верхнее значение)	3	-	-	-	3	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-
Динамическое воздействие гмли и песка	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
Выпадение инея	+	+	х	-	+	+	х	-	-	-	-	-	+	+	х	-	+	+	х	-
Наличие плесени грибов	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Наличие морской соли в воздухе, мг/м (верхнее значение)	2	2	-	-	2	2	-	-	2	2	-	-	2	2	-	-	2000	2000	-	-



На вибрационной установке испытаниям подвергают отдельную выборку ЭА, равную 3...5 шт., в диапазоне частот  $0,2...1,5 f_{op}$ , но не выше 20000 Гц ( $f_{op}$  - резонансная частота изделия, определенная расчетным путем). Если  $f_{op}$  неизвестно, то испытания проводят в диапазоне 40...20000 Гц. Поиск резонансных частот производят плавным изменением частоты при поддержании постоянной амплитуды ускорений ( $10...50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ ). Погрешность измерения частот должна быть 0,5 % или 0,5 Гц;  $f_{op}$  определяют как среднее арифметическое значение резонансных частот, полученных при испытании выборки.

Испытание на проверку отсутствия резонансных частот конструкции в заданном диапазоне частот

Цель данных испытаний - проверка отсутствия резонансных частот ЭА, ее деталей и узлов в одном из диапазонов частот, приведенных в табл. 9.

Таблица 9

Верхняя частота диапазона $f_g$ , Гц	Степень жесткости
25	I
40	II
100	III

Испытание проводят на вибрационной установке в диапазоне от 10 Гц до  $1,1 f_g$ . На наличие резонансов проверяют все основные детали и узлы ЭА, у которых возможен эффект резонанса в проверяемом диапазоне частот. Особое внимание уделяют деталям и узлам, определяющим структуру ЭА и ее функциональное назначение. Резонансы ищут при плавном изменении частоты и поддержании постоянной амплитуды перемещения, которую рекомендуется выбирать в пределах  $0,5...1,5 \text{ мм}$ , а амплитуду ускорения - в пределах  $10...50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ . Частоту перехода  $f_n$  в герцах определяют так:

$$f_n = \frac{250 \cdot j}{A},$$

где  $j$  - амплитуда ускорения;  $A$  - амплитуда перемещения, мм. Скорость изменения частоты должна быть такой, чтобы была возможность обнаружения и регистрации резонансов (не более I октавы в мин).

### Испытание на вибропрочность

Цель данного испытания - проверка способности ЭА противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в ТУ и в программе испытаний, после ее воздействия. Испытания проводят одним из методов качающейся частоты:

- во всем диапазоне частот;
- при повышенных значениях амплитуды ускорения;
- исключая диапазон частот ниже 100 Гц;
- в области резонансных частот;
- с переносом диапазона частот испытаний в область резонансных частот,
- а также методами
- одной фиксированной частоты;
- фиксированных частот во всем диапазоне;
- воздействия широкополосной случайной вибрации.

Аппаратура - вибрационная установка. Выбор параметров внешних воздействий осуществляется в соответствии с табл. 10.

### Испытание на виброустойчивость

Цель данного испытания - проверка способности ЭА выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в ТУ и программе испытаний, в условиях воздействия вибрации в заданных режимах. Аппаратура - вибрационная установка. Испытания проводят при плавном изменении частоты от нижней к верхней в заданном диапазоне и обратно. Для ЭА с линейными резонансными характеристиками частота меняется в одном направлении. Скорость изменения частоты устанавливается равной 1 + 2 октавам в минуту. Выбор параметров внешних воздействий осуществляется в соответствии с табл. 11.

Если низкая резонансная частота ЭА выше 200 Гц, то испытания ЭА, имеющих степень жесткости, характеризующуюся верхней частотой диапазона более 200 Гц, проводят, начиная с 100 Гц. В процессе данных испытаний проводят контроль параметров ЭА. Для проверки виброустойчивости рекомендуется выбирать те параметры, по изменению которых можно судить о виброустойчивости ЭА в целом (например, уровень виброшумов, искажение выходного сигнала или изменение его величины, целостность электрической цепи, нестабильность контактного сопротивления и т.д.).

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещения, мм	Частота перехода, Гц	Амплитуда ускорения, $m \cdot c^{-2}$ (g)	Расчетное время цикла качения, мин	Воздействие вибрации			
						длительное		кратковременное	
						время, ч	расчетное кол-во циклов качения	время, ч	расчетное кол-во циклов качения
I	10-35	-	-	5,0(0,5)	4	6	90	-	-
II	10-55	-	-	10 (1,0)	5	6	72	1,5	18
III	10-55	0,5	32	20 (2,0)	5	6	72	1,5	18
IV	10-55	0,5	-	-	5	6	72	1,5	18
V	10-80	0,5	32	20(2,0)	6	24	240	6,0	60
VI	10-80	0,5	50	50(5,0)	6	24	240	6,0	60
VII	10-150	0,5	50(5,0)	50(5,0)	8	24	180	6,0	45
VIII	10-200	0,5	50	50(5,0)	8	24	180	6,0	45
IX	10-500	0,5	50	50(5,0)	12	48	240	6,0	30
X	10-500	1,0	50	100(10,0)	12	48	240	6,0	30
XI	10-2000	1,0	50	100(10,0)	15	24	96	6,0	24
XII	10-2000	2,0	50	200(20,0)	15	24	96	6,0	24
XIII	100-2000	2,0	50	400(40,0)	9	24	3	6,0	24
XIV	100-5000	2,0	50	400(40,0)	11	24	3	6,0	24

Таблица II

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещения, мм	Частота перехода, Гц	Амплитуда ускорения, $m \cdot c^{-2}$ (g)
I	10-35	-	-	5(0,5)
II	10-55	-	-	10(1,0)
III	10-55	0,5	32	20(2,0)
IV	10-55	0,5	-	-
V	10-80	0,5	32	20(2,0)
VI	10-80	0,5	50	50(5,0)
UPI	10-150	0,5	50	50(5,0)
UШ	10-200	0,5	50	50(5,0)
IX	10-500	0,5	50	50(5,0)
X	10-500	1,0	50	100(10,0)
XI	10-2000	1,0	50	100(10,0)
XII	10-2000	2,0	50	200(20,0)
XIII	10-2000	4,0	50	400(40,0)
XIV	10-5000	4,0	50	400(40,0)

#### Испытание на ударную прочность

Цель данных испытаний - проверка способности ЭА противостоять разрушающему действию механических ударов многократного действия и сохранять после их действия свои параметры в пределах значений, указанных в ТУ и программе испытаний. Аппаратура - ударный стенд. Значения пикового ударного ускорения и общее число ударов выбираются из табл. 12, а длительность действия ударного ускорения - из табл. 13.

Таблица 12

Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, $m \cdot c^{-2}$ (g)	Общее число ударов для одной выборки	
		3 шт. и менее	более 3 шт.
I	150(15)	12000	10000
II	400(40)	12000	10000
III	750(75)	6000	4000
IV	1500(150)	6000	4000

Таблица 13

Значение низшей резонансной частоты ЭА, Гц	Длительность действия ударного ускорения, мс
60 и ниже	18 + 5
60-100	11 + 4
100-200	6 + 2
200-500	3 + 1
500-1000	2 + 0,5
выше 1000	1 + 0,3

Если технические характеристики ударного стенда не обеспечивают требуемой длительности действия ударного ускорения, то допускается проведение испытаний с длительностью действия ударного ускорения

$$\tau \geq \frac{300}{f_{\text{OH}}}$$

где  $f_{\text{OH}}$  - низшая резонансная частота ЭА.

#### Испытание на ударную устойчивость

Цель данных испытаний - проверка способности ЭА выполнять свои функции в условиях действия многократных механических ударов.

Испытания проводят на ударном стенде под электрической нагрузкой. Изделие подвергают воздействию 20 ударов поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к ЭА. При этом частота следования ударов должна обеспечивать возможность контроля параметров ЭА, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости в целом (например, уровень виброшумов, искажение выходного сигнала или изменение его значения, целостность электрической цепи, нестабильность контактного сопротивления и т.п.).

#### Испытание на воздействие одиночных ударов

Цель данных испытаний - проверка способности ЭА противостоять разрушающему действию механических ударов одиночного действия и выполнять свои функции после воздействия ударов, а также выполнять свои функции и не допускать ложных срабатываний в процессе воздействия ударов. Аппаратура - ударный стенд. Конкретная форма ударного импульса устанавливается в программе испы-

таний. Рекомендуемая форма ударного ускорения - полусинусоидальная. Значения пикового ударного ускорения выбирают из табл. 14, а значения длительности действия ударного ускорения - из табл. 15.

Таблица 14

Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ (g)	Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ , (g)
I	200(20)	УШ	30000(3000)
II	1000(100)	IX	50000(5000)
III	1500(150)	X	100000(10000)
IV	2000(200)	XI	200000(20000)
V	5000(500)	XII	500000(50000)
VI	10000(1000)	XIII	1000000(100000)
VII	15000(1500)		

Таблица 15

Значение низших резонансных частот ЭА, Гц	Длительность действия ударного ускорения, мс
500 и ниже	$3 \pm 1$
500-1000	$2 \pm 0,5$
1000-2000	$1 \pm 0,3$
2000-5000	$0,5 \pm 0,2$
5000-10000	$0,2 \pm 0,1$
10000-20000	$0,1 \pm 0,05$
20000 и выше	$0,05 \pm 0,02$

#### Испытание на воздействие линейного ускорения

Цель данного испытания - проверка способности ЭА противостоять разрушающему действию линейного ускорения и выполнять свои функции в процессе его воздействия, а также проверка структурной прочности ЭА.

Испытания проводят на центрифуге путем воздействия линейного ускорения (табл. 16). Испытания ЭА со степенями жесткости XII-XIV предусмотрены для проверки механической прочности.

Продолжительность испытаний - 3 мин в каждом направлении при испытаниях с ускорением до  $5000 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$  и 1 мин - при испытаниях с ускорением  $5000 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Таблица 16

Степень жесткости	Линейное ускорение, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ (g)	Степень жесткости	Линейное ускорение $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ (g)
I	100(10)	УШ	20000(2000)
II	200(20)	IX	50000(5000)
III	500(50)	X	100000(10000)
IV	1000(100)	XI	200000(20000)
V	2000(200)	XII	300000(30000)
VI	5000(500)	XIII	500000(50000)
VII	10000(1000)	XIV	1000000(100000)

Испытание на воздействие акустического шума

Цель данного испытания - определение способности ЭА выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах норм ТУ и программы испытаний в условиях воздействия повышенного акустического шума. Испытания проводят в реверберационной акустической камере одним из методов воздействия акустического тона меняющейся частоты. Акустический шум имеет место в диапазоне частот 125...10000 Гц, при этом общий уровень звукового давления выбирается из табл. 17.

Таблица 17

Степень жесткости	Уровень звукового давления, дБ	
	акустического шума	акустического тона меняющейся частоты
I	130	120
II	140	130
III	150	140
IV	160	150
V	170	160

Испытание выводов на воздействие растягивающей силы

Цель данного испытания - определение способности выводов и мест их крепления к корпусу ЭА выдерживать воздействие растягивающей силы. Испытанию подвергают все виды выводов путем плавного приложения статической силы вдоль их оси. Значение силы выбирают по табл. 18, ее плавно прикладывают к концу каждого

вывода (на расстоянии не более 4 мм от конца вывода) и выдерживают в течение (10+1) с.

Таблица 18

Поперечное сечение вывода, мм	Соответствующий диаметр проволочного вывода $\varnothing$ круглого сечения, мм	Растягивающая сила, Н
Менее 0,02	Менее 0,16	по ТУ
От 0,02 до 0,05	От 0,16 до 0,25	1,0
Свыше 0,05 до 0,10	Свыше 0,25 до 0,35	2,5
" 0,10 " 0,20	" 0,35 " 0,50	5,0
" 0,20 " 0,50	" 0,50 " 0,80	10,0
" 0,50 " 1,20	" 0,80 " 1,25	20,0
" 1,20 " 2,0	" 1,25 " 1,60	40,0
" 2,0	" 1,6	-

#### Испытание гибких проволочных и ленточных выводов на изгиб

Цель данных испытаний - определение способности гибких проволочных и ленточных выводов выдерживать изгибы при монтаже и эксплуатации. Испытание проводят одним из следующих методов:

- воздействием изгибающей силы с применением груза;
- воздействием изгибающей силы с применением груза и предохранительной шайбы;
- изгибом вывода на заданный угол.

К каждому выводу в направлении его оси поочередно подвешивают груз, в два раза меньший, чем при испытании на воздействие растягивающей силы (см. табл. 18). Затем корпус изделия в течение (3+1) с два раза отклоняют на угол 90° в вертикальной плоскости и возвращают в исходное положение за тот же период времени.

#### Испытание резьбовых выводов на воздействие крутящего момента

Цель данного испытания - определение способности резьбовых выводов и мест закрепления их за ЭА выдерживать воздействия крутящего момента. Изделия крепят к неподвижной опоре за корпус. На выводы с наружной резьбой навинчивают до упора гайку с прокладочной шайбой, а в выводы с внутренней резьбой ввинчивают стержни, к которым прикладывают крутящий момент, выбранный по табл. 19, и выдерживают в течение (10+1) с.



Таблица 19

Номинальный диаметр резьбы, мм	Крутящий момент, Н·м
До М2	По ТУ на изделие
М2	0,15
М2,5	0,40
М3	0,50
М4	1,2
М5	2,0
М6	2,5
Свыше М6	-

#### Испытание на воздействие повышенной рабочей температуры среды

Цель данного испытания - проверка параметров и сохранности внешнего вида ЭА в условиях до и после воздействия повышенной рабочей температуры среды. ЭА помещают в камеру тепла, после чего в ней устанавливают повышенную температуру, указанную в ТУ и программе испытаний. Можно в камере заранее установить повышенную рабочую температуру. ЭА выдерживают в камере до достижения теплового равновесия, но не менее 30 мин. Затем, не извлекая ЭА из камеры (а если это невозможно, то после извлечения), проверяют ее параметры.

#### Испытание на воздействие пониженной рабочей температуры среды

Цель данного испытания - проверка параметров ЭА во время и после воздействия пониженной рабочей температуры среды. ЭА помещают в камеру холода, после чего в ней устанавливают пониженную рабочую температуру, указанную в ТУ и программе испытаний. Можно в камере заранее установить пониженную рабочую температуру. ЭА выдерживают в камере до достижения теплового равновесия, но не менее 30 мин. Затем, не извлекая ЭА из камеры (а если это невозможно, то после извлечения), проверяют ее параметры.

#### Испытание на воздействие изменения температуры среды

Цель данного испытания - определение способности изделий сохранять свой внешний вид и параметры после воздействия изменения температуры среды в пределах значений, установленных ТУ и программой испытаний. Испытание проводят одним из следующих методов:

- метод быстрого изменения температуры (двух камер);
- метод постепенного изменения температуры (одной камеры);
- метод резкого изменения температуры (двух жидкостных ванн);

- комбинированный метод для испытания тепловыделяющих электротехнических изделий, предназначенных для эксплуатации вне помещений с искусственно регулируемыми условиями.

Конкретный метод выбирается в зависимости от назначения, условий эксплуатации, конструктивных особенностей ЭА.

Рассмотрим наиболее распространенные методы двух и одной камер.

При испытании первым методом ЭА подвергают трем непрерывно следующим друг за другом циклам воздействия, каждый из которых состоит из двух этапов:

1) ЭА помещают в камеру холода, в которой температура заранее доведена до пониженной рабочей, и выдерживают в ней до достижения теплового равновесия;

2) ЭА переносят в камеру тепла, в которой заранее установлена повышенная рабочая температура, и выдерживают в ней до достижения теплового равновесия. Рекомендуется, чтобы время достижения заданного температурного режима в камере после загрузки ЭА не превышала 10% времени выдержки или 5 мин.

Совокупность указанных операций составляет один испытательный цикл, график которого приведен на рис. 4 (А - начало цикла,  $t_1$  - время выдержки,  $t_2$  - время переноса, равное 2...3 мин).

При испытании вторым методом ЭА подвергают двум непрерывно следующим друг за другом циклам воздействия, каждый из которых состоит из двух этапов:

1) ЭА помещают в термокамеру, после чего температуру в ней снижают до пониженной рабочей; электронную аппаратуру выдерживают в этих условиях до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в ТУ и программе испытаний;

2) температуру в камере поднимают до повышенной рабочей; электронную аппаратуру выдерживают в этих условиях до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в ТУ и программе испытаний.

Совокупность указанных операций составляет один испытательный цикл, график которого приведен на рис. 5 (А - начало цикла,  $t_1$  - время выдержки). Среднюю скорость охлаждения и нагрева камер за период, равный не более 5 мин, рекомендуют выбирать из ряда  $(1 \pm 0,2)$ ;  $(3 \pm 0,5)$  или  $(15 \pm 1)$  °С/мин.

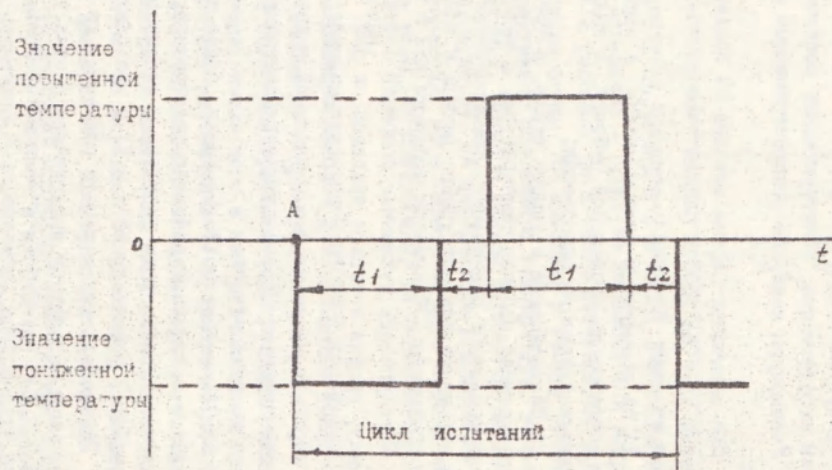


Рис. 4

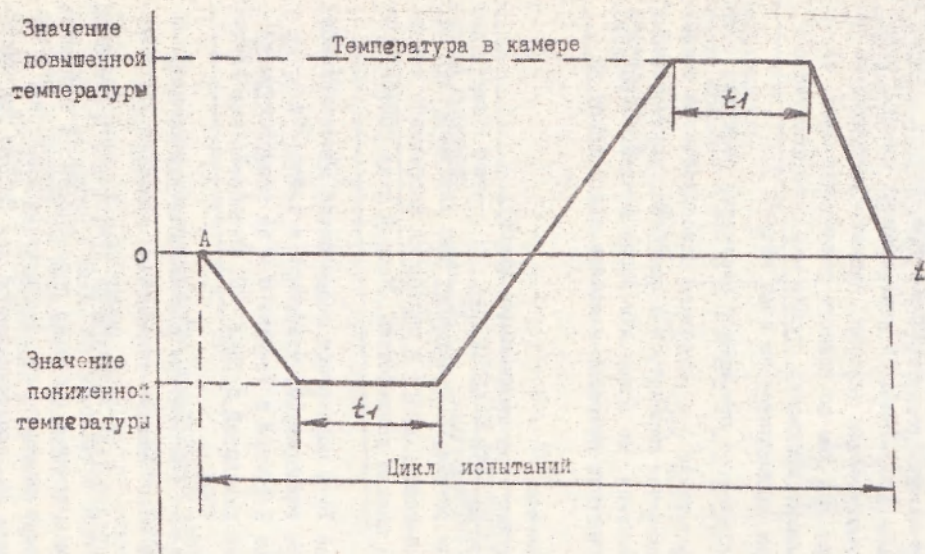


Рис. 5

### Испытание на воздействия инея и росы

Цель данного испытания - проверка способности ЭА выдерживать приложение номинального электрического напряжения при конденсации на них инея и росы. ЭА во включенном состоянии помещают в камеру холода, в которой устанавливают температуру  $-(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$  и выдерживают в течение 2 ч. Затем ЭА извлекают из камеры, помещают в нормальные климатические условия, подают электрическое напряжение и выдерживают под ним до полного оттаивания инея. ЭА прошло испытания, если не произошло пробоя или поверхностного перекрытия токоведущих проводников за счет влаги.

### Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха

Цель данного испытания - определение способности ЭА сохранять внешний вид и значения параметров в пределах, установленных в ТУ и программе испытаний, во время или после воздействия повышенной влажности. Испытания проводят в камере влаги одним из следующих методов:

- циклического режима (16 + 8 ч);
- постоянного режима (без конденсации влаги);
- циклического режима (12 + 12 ч).

При циклическом режиме ЭА испытывают без электрической нагрузки, помещая ее в камеру влаги и подвергая непрерывно следующим друг за другом циклам воздействия. Каждый цикл состоит из двух этапов:

- а) ЭА в течение 16 ч подвергают воздействию относительной влажности  $(93\pm 3)\%$  при температуре, указанной в табл. 20;
- б) ЭА охлаждают в камере в течение 8 ч до температуры не менее чем на  $5^{\circ}\text{C}$  ниже указанной в табл. 20. Относительная влажность в камере - 94...100%.

Скорость повышения температуры и влажности при проведении каждого этапа должна обеспечивать конденсацию влаги на изделиях.

### Испытание на воздействия пониженного атмосферного давления

Цель данного испытания - проверка способности ЭА выполнять свои функции в условиях пониженного атмосферного давления. В барокамере при испытании ЭА, предназначенной для работы при напряжении ниже 300 В, давление воздуха устанавливают по табл. 21. Затем проверяют параметры ЭА, установленные в ТУ и программе испытаний, давление плавно повышают до нормального и ЭА извлекают из камеры.

Таблица 20

Характеристика испытания	Длительное испытание				Ускоренное испытание		
	Степень жесткости III, УП, ХШ	Степень жесткости IV, УП, УШ, ХI	Степень жесткости V, УI, IX, X	Степень жесткости VI, X	Степень жесткости VII, УI, УШ, ХI	Степень жесткости VIII, IX, X	Степень жесткости IX, X
Продолжительность выдержки (число испытательных циклов)	4	9	21	42	4	9	18
Температура (первая часть этапа) °С	40+2	40+2	40+2	40+2	55+2	55+2	55+2

Таблица 21

Атмосферное пониженное давление, гПа (мм рт.ст.)	Давление при испытании, гПа (мм рт.ст.)	
	Для ЭА, не коммутирующих электрический ток	Для ЭА, коммутирующих электрический ток
1,33 (1)	1,33 (1)	1,33 (1)
1,33 · 10 <sup>-1</sup> (10 <sup>-1</sup> )		
1,33 · 10 <sup>-3</sup> (10 <sup>-3</sup> )	0,67 (0,5)	1,33 · 10 <sup>-1</sup> (10 <sup>-1</sup> )
1,33 · 10 <sup>-6</sup> (10 <sup>-6</sup> )		

#### Испытание на воздействие повышенного атмосферного давления

Цель данного испытания - проверка сохранения параметров и внешнего вида ЭА в условиях повышенного атмосферного давления воздуха или другого газа. ЭА помещают в барокамеру, давление в которой повышают до заданного значения с допускаемым отклонением  $\pm 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>, и выдерживают в течение времени, установленного в ТУ и программе испытаний. Проверяют электрические параметры, затем давление понижают до нормального и извлекают ЭА из камеры.

### Испытание на воздействие солнечного излучения

Цель данного испытания - проверка сохранения внешнего вида и параметров ЭА после воздействия солнечного излучения. ЭА помещают в камеру солнечной радиации и располагают таким образом, чтобы наиболее уязвимые детали (изготовленные из органических материалов или имеющие органические покрытия) были обращены к источникам излучения. После включения этих источников температуру в камере (в тени) устанавливают  $55 \pm 2^\circ\text{C}$ . Интегральная поверхностная плотность потока излучения должна равняться  $1120 \text{ Вт/м}^2$ . ЭА подвергают непрерывному облучению в течение 5 суток. Допускаются перерывы, длительностью не более суток. Затем ЭА извлекают из камеры, проводят визуальный осмотр и сравнение с ЭА, не подвергавшимся облучению.

### Испытание на воздействие дождя

Цель данного испытания - проверка сохранения параметров ЭА во время или после воздействия дождя. ЭА размещают под дождевой установкой, имеющей диаметр отверстий для прохождения воды 0,4 мм. Зона действия дождя должна перекрывать габаритные размеры ЭА не менее чем на 30 см. Угол между направлением падения дождя и плоскостью расположения ЭА равен  $45^\circ$ , температура воды в начальный момент испытаний - ниже температуры ЭА на  $10 \dots 15^\circ\text{C}$ . ЭА в течение 2 ч подвергают действию дождя с интенсивностью  $(3 \pm 1) \text{ мм/мин}$ . Затем ЭА извлекают из камеры, обтирают, визуально осматривают, потом измеряют ее параметры.

### Испытание на воздействие соляного тумана

Цель данного испытания - определение коррозионной стойкости ЭА и ее пригодности к эксплуатации во влажной соляной атмосфере. ЭА помещают в камеру соляного тумана, в которой устанавливают температуру  $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$ , и подвергают воздействию соляного тумана. Он образуется при распылении соляного раствора (в литре дистиллированной воды растворяется  $(33 \pm 3) \text{ г/л}$  хлористого натрия). Распыление производят в течение 15 мин через каждые 45 мин испытания. Общее время - 2,7 или 10 сут. ЭА извлекают из камеры и 2 ч выдерживают в нормальных климатических условиях, затем проводят ее визуальный осмотр.

#### 4. Оборудование для проведения испытаний

Основными критериями выбора оборудования при проведении механических испытаний ЭА являются следующие параметры:

- масса испытуемой ЭА (грузоподъемность), диапазон воспроизводимых частот, амплитуда перемещений, виброускорение (для вибрационных установок);

- масса испытуемой ЭА (грузоподъемность), пиковое ускорение, длительность ударного импульса, частота следования ударов (для ударных стендов).

При климатических испытаниях ЭА основное значение имеют такие критерии, как полезный объем испытательной камеры и диапазон изменения дестабилизирующих факторов, реализуемый данным типом камеры.

Рассмотрим основные типы и параметры испытательного оборудования.

Вибрационные установки предназначены для испытаний ЭА на вибропрочность и виброустойчивость. В зависимости от принципа действия вибростенды подразделяются на механические, электродинамические и электрогидравлические.

Технические характеристики электродинамических установок приведены в табл. 22, а их габаритные размеры в табл. 23. Технические характеристики электродинамических вибростендов даны в табл. 24.

Ударные стенды применяются для испытания ЭА на ударную прочность и устойчивость, а также на прочность при транспортировании. При этом различают установки, реализующие одиночные, многократные ударные воздействия и механические нагрузки при транспортировании.

На установках одиночного удара испытывают ЭА на ударную прочность при воздействии одиночных ударов с различными ускорениями и длительностями ударных импульсов. Технические данные таких установок представлены в табл. 25, а технические данные установок многократных ударов - в табл. 26.

Установки имитации транспортной тряски также предназначены для испытаний ЭА на ударную прочность и на прочность при транспортировании.



Таблица 22

Тип установки	Полная сила, п	Диапазон частот, Гц	Масса испытуемых изделий, кг	Амплитуда перемещений, мм	Коэф. нелинейных искажений вибрац. колебаний, %	Виброускорение, g	Продолжительность непрерывной работы, ч	Потребляемая мощность, Вт
СССР								
УВЭ-0,5/10000	1750	5-10000	0,5	6	10	100	7	4,5
УВЭ-1/10000	1200	5-10000	1,0	4-6	10-15	2-40	8	4,8
УВЭ-5/10000	3300	5-10000	5,0	7,5	10-15	2-45	-	12,0
УВЭ-10/5000	16000	5-5000	10,0	10,0	-	2-45	7	46,0
УВЭ-50/5-5000М	20000	5-5000	50,0	10,0	15-20	2-45	24	50,0
ВЭДС-10А	100	5-5000	1,9	6,0	8	100	8	0,7
ВЭДС-100Б	1000	5-5000	22,0	7,5	8	4	8	5,0
ВЭДС-200А	2000	5-5000	45,0	12,5	8	4	-	5,0
ВЭДС-400А	4000	5-5000	90,0	20,0	8	4	8	10,0
ВЭДС-1500	15000	5-2000	300,0	6,0	10	100	8	-
Англия								
УР-2	11	5-10000	-	-	-	62	-	-
УР-30	20400	5-4500	-	-	-	90	-	-
Япония								
VS-3202	1700	5-5000	-	-	-	100	-	-
VS-3205H	15000	5-3000	-	-	-	100	-	-
ФРГ								
SW-50	80	0-10000	-	10	-	40	-	-
SW-100	170	0-10000	-	6	-	42	-	-

Таблица 23

Тип установки	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	Вибростенд	Усилитель	Система управления	
УВЭ-0,5/10000-100	770х620х745	1105х735х1880	550х600х380	850
УВЭ-1/10000	∅ 465х437	584х550х1900	550х600х380	860
УВЭ-5/10000	Для размещения	необходима площадь	15 м <sup>2</sup>	130
УВЭ-10/5000	Для размещения	необходима площадь	27 м <sup>2</sup>	5500
УВЭ-50/5-5000М	∅ 828х660	1371х696х1862 625х674х1814	550х600х380	4525
ВЭДС-10А	260х295х350	456х550х1440	260х170х230	220
ВЭДС-100Б	480х1000х555	630х686х1922	458х557х1922	1050
ВЭДС-200А	610х1100х675	630х686х1922	458х557х1922	1250
ВЭДС 400А	1450х870х690	630х686х1920	450х557х1920	1680
ВЭДС-1500	1640х1000х842	(678х780х1922)х2	1500х1000х3000	4700

Таблица 24

Тип установки	Толкающая сила, Н	Диапазон частот, Гц	Макс. виброускорение,	Погрешность задания частоты, %	Масса испыт. изделия, кг	Габаритные размеры, мм	Масса вибростенда, кг	Потребляемая мощность, кВт
СССР								
ЭГВ-1-300	10000	1-300	8	+2	100	3340х3200х1847	2500	24
ЭГВ-2-250	20000	1-250	8	+2	200	3340х2200х1847	2500	24
ЭГВ-5-250	50000	1-250	8	+2	500	3325х2150х1850	3500	55
ЭГВ-10-200П	100000	1-200	8	+2	1000	3000х3000х1850	3400	55
ЭГВ-10-100	100000	0,5-100	10	+2	1000	7000х3000х1850	5000	135
ЭГВ-20-200	200000	1-200	8	+2	3000	6000х3300х1850	6800	135
ЭГВ-50-100П	500000	1-100	5	+2	5000	8200х2800х1850	6500	135
Япония								
HS-1005	5000	0,1-140	-	-	-	-	-	5,5
HS-1008	8000	0,1-100	-	-	-	-	-	35
HS-1010	10000	0,1-100	-	-	-	-	-	35
HS-1020	20000	0,1-100	-	-	-	-	-	52
HS-1500	500000	0,1-30	-	-	-	-	-	480
HS- IIT	1000000	0,1-30	-	-	-	-	-	480

Таблица 25

Тип установки	Ускорение, $m \cdot c^{-2}$	Длительность ударного импульса, мс	Масса испытуемых изделий, кг	Способ разгона ударной массы	Размер плоского ударного стола, мм	Габаритные размеры, мм		Масса, кг		Потребляемая мощность, кВт
						стенда	пульта управления	стенда	пульта управления	
К-2/3000	100-3000	15-0,2	2	Свободное падение принудительный разгон	-	3000х814х844	1050х740х740	3200	70	2
КУ-1	10000	0,5-100	5	Свободное падение принудительный разгон	150х150	1050х900х3480	350х50х50	1300	7,0	0,8
КУ-2	300	5-100	50	Свободное падение принудительный разгон	400х400	2600х1000х4500	605х380х915	3300	75	2,2
КУ-3	500	5-100	150	Свободное падение принудительный разгон	600х600	2900х1000х4500	605х380х915	4900	75	2,2
КУ-4	300	5-100	250	Свободное падение принудительный разгон	900х900	3375х1125х4600	605х380х915	7200	75	2,2

Таблица 26

Тип установки	Ускорение, $m \cdot c^{-2}$	Длительность ударного импульса, мс	Масса испытуемых изделий, кг	Частота ударов в мин	Габаритные размеры, мм		Масса, кг		Потребляемая мощность, кВт	Размер плоского ударного стола, мм
					стенда	пульта управления	стенда	пульта управления		
УУ-ИМ.	10-150	2-15	50	10-100	520х 500х 750	550х 330х 300	266	30	1	280х450
УУ-500/150	150	2-50	500	20-120	3750х 1500х 1025	-	2200	-	23	1200х1200
УУ-2/200	2-200	2-14	3	20-200	425х 390х 680	700х 600х 1800	250	20	-	-
УУ-20/200	3-500	1,5-40	20	20-200	6650х 840	800х 700х 1800	3000	-	2	6300
УУ-5/1000	10-1000	1-20	5	5-80	870х 700х 2510	745х 740х 1050	120	100	35	210х250



Таблица 28

Тип камеры тепла	Полезный объем, м <sup>3</sup>	Габаритные размеры полезного объема, мм	Диапазон темпера- тур, °С	Колеса- ния тем- ператур, °С	Габаритные размеры, мм	Потребляемая мощность, кВт
СССР						
КТ-0,05-315М	0,05	370х370-370	40-315	1-2	845х1242х1790	6,2
КТ-0,025-350	0,025	-	40-350	2	765х550х560	1,5
КТ-04-350	0,4	740х740х740	40-315	2-5	1570х1320х2020	9,8
КТ-1-350	1,0	1000х1000х1000	40-350	2-5	1860х1595х2260	12,0
Япония						
P-7C	1,8	1500х1000х1200	40-200	-	-	-
GE-103	0,05	360х350х400	до 250	-	-	1,8
ΛKYS) -4	4,05	1800х1500х1500	40-200	I	-	22,5
ФРГ						
TSE 1000/RN	1,0	1000х970х1000	до 100	0,5	1830х1195х1980	4,5
TSE 1000/RV	1,0	1000х970х1000	до 100	0,4	1830х1195х1980	6,5
TSE 80/RV	0,08	500х400х400	до 100	0,4	1150х700х730	2,0

В камерах термостарения испытывают ЭА на термостарение при воздействии повышенной температуры. Ее технические характеристики:

Количество отсеков в камере, шт.	5
Размер каждого отсека, мм	440х520х125
Диапазон температур, °С	40...200
Неравномерность распределения температуры, °С	2
Габаритные размеры, мм	920х930х2350

Термокамеры используются для испытания ЭА на воздействие повышенных и пониженных температур. Их технические характеристики приведены в табл. 29.

В камере тепла и холода КТХ-0,15/2-65/155 испытывают СВЧ-приборы на воздействие повышенных и пониженных температур с подачей постоянного и переменного тока напряжением 1000 В на испытываемые приборы, в камере термоциклирования - на устойчивость к воздействию циклического изменения температуры.

Камера термоциклирования КТЦ-0,025 имеет следующие технические характеристики:

Полезный объем отсека камеры, м <sup>3</sup>	0,025
Диапазон температур, °С:	
в отсеке тепла	30...200
в отсеке холода	25...65
Неравномерность распределения температуры, °С	2...5
Время восстановления температуры после смены кассет, мин	6
Максимальная потребляемая мощность, кВт	12
Габаритные размеры, мм	1840х1460х1970

Камеры влаги предназначаются для испытания ЭА на влагоустойчивость, их технические характеристики приведены в табл. 30.

В термовлагокамерах проводят технологические испытания ЭА на воздействие повышенных и пониженных температур и влажности.

Термовлагокамера КТХВ0,1-10/90 имеет следующие технические характеристики:

Полезный объем, м <sup>3</sup>	0,1
Габаритные размеры полезного объема, мм	470х470х170
Диапазон температур, °С	-10...+90
Точность поддержания температуры, °С	±2
Относительная влажность при 30...60°С, %	40...98
Колебания относительной влажности, %	3
Габаритные размеры, мм	1150х840х800



Таблица 29

Тип чехмы тепла и холода	Полезный объем, м <sup>3</sup>	Габаритные размеры по- лезного объема, мм	Диапазон температур, °С	Колебания темпера- туры, °С	Кэф. запол- нения объема	Габаритные размеры, мм	Потребля- емая мощ- ность, кВт
СССР							
КТХ-0,012-65/155	0,01	200х200х250	-65...+155	1,5	0,5	680х980х1500	1,4
КТХ-0,05/2-65/155	0,05	45Фх350х320	-65...+155	1,5	0,5	820х1128х1680	2,8
КТХ-0,1-65/250	0,1	-	-65...+250	1-2	-	1018х722х2253	4,0
КТХ-0,4-65/155	0,4	735х735х735	-65...+155	2	-	1230х1900х2080	7,6
КТХ-0,4-70/100	0,4	750х750х750	-70...+100	3	-	1342х1290х2070	7,0
КТХ-1-90/100	1,0	1000х1000х1000	-90...+100	2	-	1980х2680х2375	18
КТХ-0,15/2-65/155	0,15	630х600х400	-65...+155	1,5	0,5	1030х1388х1740	4,0
ГДР							
Т8V -1000	1,0	965х1050х1000	-70...+100	-	-	1430х1830х1970	9,0
Т8V -12,5/1	0,125	496х455х696	-30...+100	-	-	800х920х1970	2,1
Япония							
РЦ - 1А	0,120	500х400х600	-40...+85	0,3	-	800х750х1250	2,5
РЦ - 2А	0,225	500х600х750	-40...+85	0,3	-	800х900х1400	3,0
ФРГ							
VLM-0,4/160	0,12	550х400х500	-40...+80	1	-	1370х880х1000	0,6
VLM-0,4/300	0,30	950х500х600	-40...+80	1	-	1640х1000х1000	0,6

Таблица 30

Тип камеры влаги	Полез- ный объем, м <sup>3</sup>	Диапазон регули- рования относи- тельной влажно- сти, %	Колебани- я тем- перату- ры, °С	Колебани- я от- носитель- ной влажно- сти, %	Габари- ты, мм	Потреб- ляемая мощность, кВт
КВ-0,4-95/70	0,4	при 20-50°C 35-95 при 50-70°C 15-95	0,5	3	1120х 1600х 1950	5
КВ-1-95/55	1,0	при 25-65°C 95	0,5	2	1520х 1430х 1760	3

Барокамеры повышенного и пониженного давления применяют для испытаний ЭА на воздействие избыточного давления. Их технические характеристики даны в табл. 31.

Таблица 31

Тип барока- меры	Полез- ный объем, м <sup>3</sup>	Габаритные размеры полезного объема, мм	Избы- точное давление, кг/см <sup>2</sup>	Понижен- ное ат- мосферное давление, мм рт.ст.	Габаритные размеры, мм	Потреб- ляемая мощность, кВт
КВМ-0,025	0,025	292х292х 292	3	-	566х686х 1210	0,8
К6-0,025, В-403	0,025	292х292х 292	-	1·10 <sup>-6</sup>	960х1222х 1745	3,0

В термобарокамерах, технические характеристики которых приведены в табл. 32, испытывают ЭА на воздействие пониженного атмосферного давления при различных температурах.

Камеры тепла, влаги и грибообразования используются для испытаний ЭА на воздействие повышенной и пониженной температур, повышенной и пониженной влажности и на грибоустойчивость.

Таблица 32

Тип барокамеры	Полезный объем, м <sup>3</sup>	Габаритные размеры полезного объема, мм	Диапазон темпера- тур, °С	Минимальное давление, мм рт.ст.	Габаритные размеры, мм	Потреб- ляемая мощ- ность, кВт
СССР						
КТХБ-0,025-155	0,025	292х292х292	-65...+155	1,0	1350х1520х1830	7
КТХБ-К-0,15-65/155	0,15	540х540х540	-65...+155	0,5	1230х1000х2030	9
КТХБ-0,4-155	0,4	735х735х735	-65...+155	0,5	1760х2010х2200	14
ГДР						
ТВV -1000	1,0	965х1030х990	-70...+100	до 1,5	4430х3830х2970	10,0
ТВV -2000	2,0	1270х1350х1145	-70...+100	до 1,0	5800х4080х2150	11,0
ФРГ						
ТВК -70	0,5	800х800х800	-70...+100	до 1,0	-	-

Камера КТВГ-0,4 имеет следующие технические характеристики:

Полезный объем, м <sup>3</sup>	0,4
Габаритные размеры полезного объема, мм	715х750х740
Диапазон температур, °С	10...90
Относительная влажность % при температурах:	
20...25 °С	50...98
25...30 °С	30...98
30...55 °С	20...98
Габаритные размеры, мм	1300х1580х1782
Потребляемая мощность, кВт	6

Дождевые установки предназначены для испытаний Э. на брызгозащищенность и водонепроницаемость. Камера дождя КД-0,4К имеет следующие технические характеристики:

Полезный объем, м <sup>3</sup>	0,4
Габаритные размеры полезного объема, мм	630х630х1000
Интенсивность искусственного дождя, мм/мин	3...10
Угол наклона стола относительно горизонтальной плоскости, град	15, 30, 45
Уровень воды, поддерживаемый над горизонтально расположенным столом при испытании на водонепроницаемость, мм	925...940
Расход воды при испытании, м <sup>3</sup> /ч:	
на водонепроницаемость (одно заполнение)	1,2
на брызгозащищенность	0,009
Габаритные размеры, мм	1420х1158х1878
Потребляемая мощность, кВт	1,6

В камерах соляного тумана испытания ЭА проводят на воздействие соляного тумана. Камера КСТ-0,4 имеет следующие технические данные:

Полезный объем, м <sup>3</sup>	0,4
Температура, при которой обеспечивается непрерывная и циклическая подача тумана, °С	27...35
Колебания температуры, °С	2
Метод получения тумана	ультразвуковой
Водность соляного тумана, г/м <sup>3</sup>	2-3
Габаритные размеры, мм	1070х970х1870
Потребляемая мощность, кВт	1,7

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация /Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И. и др. - М.: Высшая школа, 1984. - 392 с.
2. Ханке Х.-И., Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры /Под ред. В.Н.Черняева. - М.: Энергия, 1980. - 464 с.
3. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование /Глудкин О.П., Бигалычев А.Н., Коробов А.И. и др. - М.: Радио и связь, 1987. - 272 с.
4. Малинский В.Д. Контроль и испытания радиоаппаратуры. - М.: Энергия, 1970. - 336 с.

## Оглавление

1. Методы и виды испытаний электронной аппаратуры .....	3
2. Програма и методика испытаний ЭА .....	7
3. Механические и климатические испытания ЭА .....	11
4. Оборудование для проведения испытаний .....	39
Литература .....	52