

**С. Н. Синавчиан, Н. В. Федоркова,  
М. А. Синельщикова**

## **Испытания радиоэлектронных средств на механические и климатические воздействия**

*Методические указания  
к выполнению лабораторных работ по дисциплинам  
«Методы оценки эксплуатационных параметров и испытаний  
изделий», «Электрорадиоизмерения и испытания информационных  
радиоэлектронных средств», «Электрорадиоизмерения  
и испытания радиоэлектронных средств»*



Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 5

УДК 658.562  
ББК 32.844-07  
С38

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*  
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/192/book692.html>

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»  
Кафедра «Технологии приборостроения»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве методических указаний*

*Рецензент*  
канд. техн. наук, доцент *А.С. Косолапов*

**Синавчиан, С. Н.**

**С38** Испытания радиоэлектронных средств на механические и климатические воздействия: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Методы оценки эксплуатационных параметров и испытаний изделий», «Электрорадиоизмерения и испытания информационных радиоэлектронных средств», «Электрорадиоизмерения и испытания радиоэлектронных средств» / С. Н. Синавчиан, Н. В. Федорова, М. А. Синельщикова. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 33, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4056-6

Приведены краткие теоретические сведения, методические указания и порядок выполнения лабораторных работ.

Для студентов старших курсов кафедры «Технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих дисциплины «Методы оценки эксплуатационных параметров и испытаний изделий», «Электрорадиоизмерения и испытания информационных радиоэлектронных средств», «Электрорадиоизмерения и испытания радиоэлектронных средств».

УДК 658.562  
ББК 32.844-07

ISBN 978-5-7038-4056-6

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания соответствуют учебной программе курсов «Методы оценки эксплуатационных параметров и испытаний изделий», «Электрорадиоизмерения и испытания информационных радиоэлектронных средств», «Электрорадиоизмерения и испытания радиоэлектронных средств».

При выполнении цикла лабораторных работ студенты закрепят теоретические сведения о методиках испытания радиоэлектронных средств (РЭС). Все работы поставлены на реальных образцах радиотехнических систем. Экспериментальные исследования основных характеристик, проводимые в процессе выполнения лабораторных работ, позволят студентам четче уяснить физические ограничения и особенности исследований механических и термических параметров РЭС.

По каждой лабораторной работе студенты выполняют отчет, в котором отражают результаты измерений, осциллограммы, структурная схема стенда, аналитические выражения и расчеты, вы-воды.

К выполнению лабораторной работы студенты должны подготовиться предварительно. Контрольные вопросы, приведенные в конце каждой работы, помогают студентам подготовиться к защите работы. Защита лабораторной работы осуществляется в день ее выполнения непосредственно у учебного стенда.

Методические указания предназначены для студентов старших курсов кафедры «Технологии приборостроения». Весь курс лабораторных работ рассчитан на выполнение в течение 17 аудиторных часов.

# **Лабораторная работа № 1, 2**

## **РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ОТСУТСТВИЕ) РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

**Цель работы** — изучение принципов теоретического определения и методики экспериментального поиска резонансных частот конструкций РЭС.

### **1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

#### **1.1. Общая структура и методические принципы проведения испытаний**

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

При этом применяют следующие виды механических испытаний:

- на наличие и отсутствие резонансных частот;
- на виброустойчивость;
- вибропрочность;
- ударную устойчивость;
- воздействие одиночных ударов;
- линейные центробежные нагрузки и акустические шумы.

Анализ различных видов механических испытаний показал, что сочетания вибрационных нагрузок и одиночных ударов оказывают на РЭС наибольшее воздействие, а остальные виды механических воздействий являются второстепенными.

Число видов механических испытаний и их последовательность зависят от назначения РЭС, условий эксплуатации, типа производства. Например, в программу определительных испытаний опытного образца и образцов установочной серии необходимо включать все виды механических испытаний, а для образцов серийного производства — испытания, предусмотренные стандартами и ТУ на изделия.

Рекомендуется следующий алгоритм методики механических испытаний.

**1. Подготовка изделий РЭС к испытанию.** Она сводится к изучению технической документации, внешнему осмотру, измерению электрических параметров в соответствии со стандартами и ТУ на РЭС.

**2. Изучение технической документации.** При подготовке к проведению испытаний следует ознакомиться со следующей документацией:

- программой испытаний (ПИ);
- ТУ или стандартами на изделия;
- инструкцией по проведению испытаний;
- инструкцией по эксплуатации испытательного оборудования;
- инструкцией по обеспечению техники безопасности.

**3. Внешний осмотр изделий.** При проведении внешнего осмотра к персоналу необходимо предъявлять следующие требования:

- острота зрения — в пределах от 1 до 0,8 для обоих глаз;
- цветоощущение — нормальное.

Освещенность рабочего места должна составлять 50...100 лк.

Внешний осмотр изделий проводят невооруженным глазом (визуально) либо с применением оптических средств (микроскоп и т. д.) в соответствии с указанием стандартов и ТУ на изделия.

В процессе осмотра особое внимание должно быть уделено таким узлам конструкции изделий, в которых возникают наибольшие напряжения и деформации. К ним в первую очередь относят:

- крепления деталей изделия к опорным основаниям (выводы, крепежные лапы, стойки, кронштейны и т. п.);
- резьбовые соединения;
- паяные, сварные, клеесварные и клеевые соединения;
- герметичные соединения и места герметизации;
- крепления пружин, пластин и других упругих деталей, места заделки выводов и т. п.

Требования к внешнему виду изделий и допустимые отклонения установлены стандартами или ТУ.

**4. Измерение электрических параметров изделий.** Измерение электрических параметров и перечень проверяемых параметров изделий и допускаемых отклонений от норм, устанавливаются стандартами и ТУ.

При проведении испытаний последовательно на несколько видов воздействий могут быть выполнены дополнительные измерения параметров.

**5. Выбор метода испытаний.** Нормы и методы испытаний установлены на изделие в соответствии с ГОСТ 20.57.406–81.

**6. Выбор испытательной установки.** Проводят на основании сравнения параметров испытательного режима (амплитуды, ускорения и перемещения, диапазона частот вибрации), а также массы испытуемого изделия и крепежного приспособления с техническими данными вибрационных установок, имеющихся в наличии. Перечень вибростендов средней мощности и их технические характеристики одного из производителей представлены в табл. 1.

**7. Выбор средств измерения параметров.** Измерение параметров проводят с помощью средств измерения, входящих в комплект оборудования. Диапазон измерения параметров должен соответствовать требованиям технической документации на измерительные приборы.

**8. Выбор контрольной точки.** Зависит от массогабаритных характеристик испытуемого изделия, количества одновременно устанавливаемых на столе вибростенда крепежных приспособлений и возможности закрепления на них виброизмерительного преобразователя. Контрольная точка может быть выбрана:

- на крепежном приспособлении;
- на рабочем столе вибростенда;
- на испытуемом изделии;
- условно.

**9. Выбор приспособления и способов крепления изделий.** Общие требования, методы проектирования, конструирования и проверки приспособлений для крепления малогабаритных изделий (масса изделий в выборке не более 0,1 кг) изложены в прил. 6 ГОСТ 16962–71.

Крепления изделий на приспособлении и приспособления к столу вибростенда производят в соответствии с ГОСТ 16962–71.

Вибрационная установка и виброизмерительная аппаратура должны быть проверены на соответствие требованиям технической документации, о чем должна быть сделана соответствующая запись в формуляре или ином документе, принятом на предприятии.

Таблица 1

Характеристики вибростендов компании Data Physics

Модель	Диаметр арматуры	Масса арматуры	Резонанс арматуры +5%	Максимальное перемещение (пик-пик) мм	Максимальное усилие (синус) Н	Максимальное усилие (ШЧВ) (синус) g	Максимальная скорость м/с	Масса изделия кг
	мм	кг	Гц					
GW-V300/DSA1-1K	140	1,7	4700	12,7	1646	849	1,27	90
GW-V350/DSA1-1K	127	3,4	3500	20,3	2380	1308	0,9	114
GW-V350/DSA1-2K	127	3,4	3500	25,4	3100	2240	1,27	114
GW-V400HG/DSA1-2K	174,5	5,22	2900	25,4	4600	2258	0,81	160
GW-V400HG/DSA5-5K	174,5	5,22	2800	25,4	6000	3900	1,27	160
GW-V400HG/DSA5-10K	174,5	5,22	2800	25,4	7326	4150	1,52	160
GW-V400LT/DSA1-2K	333	8,2	2900	25,4	4600	2558	0,81	160
GW-V400LT/DSA5-5K	333	8,2	2900	25,4	6000	3900	1,27	160
GW-V400LT/DSA5-10K	333	8,2	2900	25,4	7326	4150	1,52	160
GW-V617/DSA5-5K	174,5	6,8	2350	51	4670	4003	1,52	90
GW-V617/DSA5-10K	174,5	6,8	2350	51	6672	4560	1,52	90
GW-V1 322/DSA5-10K	229	13,6	2250	51	7264	6670	1,8	160
GW-V1 322/DSA5-15K	229	13,6	2250	51	10930	10000	1,8	160
GW-V1 333/DSA5-10K	335	18	2550	51	7264	6670	1,8	160
GW-V1 333/DSA5-15K	335	18	2550	51	10930	10000	1,8	160

В процессе эксплуатации необходимо проводить регулярные проверки вибрационной установки. Эти проверки бывают двух видов:

проверка перед началом нового испытания;

проверка после перерывов в работе установки при продолжении ранее начатых испытаний (ежедневная проверка).

**10. Проверка вибрационной установки перед началом новых испытаний.** Включает проверку исправности виброизмерительной аппаратуры вибрационной установки; проверку вибрационной установки с установленным изделием.

**11. Испытательный режим.** Устанавливают с помощью органов управления вибрационной установкой. Последовательность операций по установке испытательного режима определяется инструкцией по эксплуатации вибрационной установки.

**12. Проведение испытаний.** Изделие должно подвергаться вибрации поочередно в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Если изделие имеет хотя бы одну ось симметрии, рекомендуется проводить испытания в двух направлениях (вдоль оси симметрии и перпендикулярно ей). Если конструкция изделия такова, что преобладающее воздействие на него будет оказывать вибрация в одном направлении, рекомендуется проводить испытание изделий только в этом направлении.

**13. Контроль режимов испытания.** Проводят по показаниям измерительных приборов, входящих в состав виброизмерительной аппаратуры. После окончания испытаний проводят внешний осмотр, измерение параметров изделий в соответствии с требованиями стандартов и ТУ. По результатам испытаний оформляют протокол установленной формы.

## **1.2. Испытания на определение резонансных частот конструкции**

Определение резонансных частот проводят с целью проверки механических свойств изделий и получения исходной информации для выбора методов испытаний на виброустойчивость, вибропрочность, на воздействие акустического шума, а также выбора длительности действия ударного ускорения при испытаниях на механические удары одиночного и многократного действия.

Испытания РЭС на виброустойчивость и вибропрочность осуществляют методами фиксированных частот, качающейся частоты, случайной вибрации. Выбор того или иного метода испытания определяется резонансными частотами изделия: если резо-



нансная частота изделия превышает верхнюю частоту рабочего диапазона частот более чем в 1,5 раза, проводят испытание на одной фиксированной частоте; если резонансные частоты не установлены, используют метод качающейся частоты; если испытываемое изделие имеет не менее четырех резонансов в заданном диапазоне частот, применяют метод случайной вибрации.

Значения резонансных частот конструкции, выявленные в процессе испытаний, должны совпадать с приведенными стандартами и ТУ на изделие.

### 1.2.1. Расчетное определение резонансной частоты

На этапах конструирования  $f_p$  рассчитывают, затем ее значение проверяют на вибростенде. Рассмотрим несколько примеров расчетов  $f_p$  для различных плат:

плата с одним закрепленным элементом:

$$f_{pm} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}},$$

где  $k$  — коэффициент жесткости вывода элемента,  $k = \frac{48EJ}{l^3}$ ;  $m$  — масса элемента;  $E = 1,2 \cdot 10^{11}$  Н/м — модуль упругости стеклотекстолита;  $J = \frac{\pi d^4}{64}$ ;  $l$  — длина вывода элемента;  $d$  — диаметр вывода;

элемент над поверхностью печатной платы (рис. 1, 2). Основная частота колебаний для сил, действующих по координатам  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ :

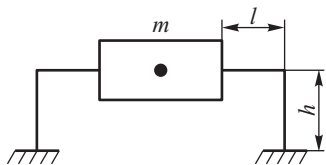


Рис. 1. Элемент над поверхностью печатной платы

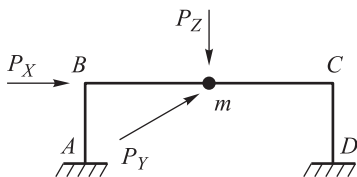


Рис. 2. Расчетная модель для элемента, установленного над поверхностью печатной платы

по координате  $X$

$$f_{p_x} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{48EJ}{ml^3 \left[ 1 - \frac{9}{8(k+2)} \right]} \right\}^{0,5};$$

по координате  $Y$

$$f_{p_y} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{2}{m} \left[ \frac{(2l)^3}{24EJ} + \frac{h^3}{3EJ} - \frac{(2l)^4 GJ}{32EJ(2hEJ + 2lGJ)} \right] \right\}^{0,6};$$

по координате  $Z$

$$f_{p_z} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{24EJ}{mh^3 \left[ 1 + \frac{3}{6k+1} \right]} \right\}^{0,5},$$

где  $J = \frac{\pi d^4}{64}$  — момент инерции вывода элемента;  $k = h/2l$ ;

$m$  — масса элемента, кг;  $l$  — расстояние от корпуса элемента до изгиба вывода, м;  $h$  — высота установки ЭРЭ над поверхностью платы, м;  $d$  — диаметр вывода элемента, м;  $E$  — модуль упругости материала вывода элемента, Н/м<sup>2</sup>;  $G$  — модуль сдвига материала вывода элемента, Н/м<sup>2</sup>;

плата с несколькими закрепленными на ней элементами:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha}{l^2} \sqrt{\frac{D}{m_0}},$$

где  $\alpha$  — безразмерный коэффициент,  $\alpha = 6,2 \cdot 10^{-3} K_M \left( 1 + \frac{l^2}{b^2} \right)$ ;

$l$  — длина платы;  $b$  — ширина платы;  $K_M$  — коэффициент жесткости,  $K_M = 0,1 \dots 0,9$ ;  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\sigma^2)}$  — цилиндрическая жесткость

платы;  $h$  — толщина платы;  $\sigma$  — коэффициент Пуассона,  $\sigma = 0,22$ ;  $m_0 = (m_э + m_п)/bl$ ;  $m_э$  — масса элементов;  $m_п$  — масса платы.

Суммарную резонансную частоту  $f_\Sigma$  платы можно определить по следующей формуле:

$$\frac{1}{f_\Sigma^2} = \frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_2^2} + \frac{1}{f_3^2},$$

где  $f_1^2, f_2^2, f_3^2$  — резонансные частоты комплектующих изделий, закрепленных на плате;

собственная частота колебаний печатных плат с распределенной нагрузкой:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha_1}{a^2} \sqrt{\frac{D}{M}} ab,$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент, зависящий от способа крепления платы;  $D$  — цилиндрическая жесткость платы;  $a$  — длина платы;  $b$  — ширина платы;  $M$  — масса платы с ЭРЭ.

Цилиндрическая жесткость платы

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)},$$

где  $E$  — модуль упругости материала платы;  $h$  — толщина платы;  $\nu$  — коэффициент Пуассона.

При закреплении пластин (плат) по углам в четырех точках собственную частоту определяют по формуле

$$f_p = \frac{\pi}{2a^2} \left( 1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab.$$

### 1.2.2. Экспериментальное определение резонансной частоты

Для экспериментального определения резонансных частот изделий рекомендуется использовать электродинамические вибрационные стенды, так как они обеспечивают действие возмущающей силы в широком диапазоне частот (10...5000 Гц) при малом (10...15 %) коэффициенте нелинейных искажений.

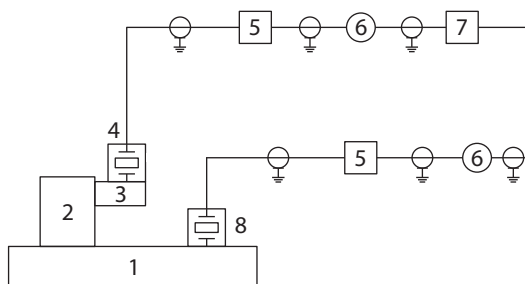
При совпадении резонансной частоты изделия с частотой возмущающей силы наступает явление резонанса, которое сопровождается увеличением амплитуды колебаний изделий и изменением фазы колебаний на  $90^\circ$ .

Если испытуемое изделие представляет собой сложную многомассовую систему (например, трансформатор или реле), то оно обладает несколькими резонансными частотами. При этом наибольший интерес представляют две-три наинизшие резонансные частоты, так как на этих частотах в деталях возникают наибольшие деформации и напряжения.

Существуют следующие методы определения резонансных частот: пьезоэлектрический, электретный, емкостный, оптический.

В пьезоэлектрическом методе определение резонансных частот изделия и их элементов проводят по сигналу с малого пьезодатчика, прикрепляемого к испытуемому образцу гермозамазкой. Этот метод обеспечивает достаточную точность в случае, когда размеры и масса испытуемого изделия не менее чем в 10 раз превышают размеры и массу малого пьезодатчика. Малые пьезодатчики представляют собой пьезоэлементы из керамики ЦТС-19 в форме дисков с посеребренными поверхностями диаметром до 10 мм, толщиной 0,3...1 мм и массой 2...500 мг. К посеребренным поверхностям дисков легкоплавким припоем припаивают выводы из провода ПЛШО 0,13 мм и длиной не более 20 мм. Выводы изогнуты в виде петли, а их свободные концы припаяны к экранированному проводу, закрепленному на крышке вибростенда. Во избежание больших помех вывод от поверхности соприкосновения малого пьезодатчика с металлической поверхностью образца должен быть соединен с экраном. Частоты собственных колебаний таких пьезодатчиков более 100 кГц; чувствительность равна (0,05...1) мВ/г и определяется при калибровке методом вторичного эталона. Принципиальная схема пьезоэлектрического метода определения резонансных частот представлена на рис. 3.

Экспериментальное определение  $f_p$  проводят на отдельной выборке изделий из 3–5 шт. Вибрационная установка должна обеспечивать получение синусоидальных колебаний во всем диапазоне частот, установленном стандартом и ТУ на изделия и ПИ для данного вида испытаний. Устройство для определения резонансных частот конструкции должно обеспечивать регистрацию изменения фазы механического колебания на  $90^\circ$ , если принцип его работы основан на сравнении фаз колебаний точки крепления изделия и точки определения резонанса.



**Рис. 3.** Функциональная схема оборудования для определения резонансных частот пьезоэлектрическим методом:

1 — стол вибростенда; 2 — приспособление для крепления образца; 3 — образец; 4 — малый пьезодатчик; 5 — повторитель; 6 — вольтметр; 7 — осциллограф; 8 — пьезодатчик контрольный

Испытания проводят в диапазоне частот  $(0,2 \dots 1,5)f_p$ , но не выше 20 000 Гц, где  $f_p$  — резонансная частота, определяемая расчетом или на основании испытаний изученной аналогичной конструкции. Если не известно ориентировочное значение резонансной частоты, то испытание проводят в диапазоне частот 40...20 000 Гц или до частоты, установленной стандартами и ТУ на изделия.

Поиск резонансных частот проводят путем плавного изменения частоты при поддержании постоянной амплитуды ускорения. Амплитуда ускорения должна быть минимально возможной, но достаточной для выявления резонанса, и не превышать амплитуду ускорения, установленную для испытания на вибропрочность. Амплитуду ускорения рекомендуется выбирать из диапазона  $(1 \dots 5)g$ .

### 1.3. Испытания на наличие резонансных частот конструкции в заданном диапазоне

Испытания проводят для проверки отсутствия резонансных частот у изделий и их деталей в одном из диапазонов частот, приведенных в табл. 2.

Испытания проводят в диапазоне частот от 10 Гц до  $1,1 f_b$ , где  $f_b$  — верхняя частота диапазона, приведенного в табл. 2, если другой диапазон не указан в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Испытания проводят в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к изделию, если другие указания по выбору направлений не даны в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

**Режимы испытаний на наличие  
резонансных частот**

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

При проведении испытаний проверяют на наличие резонансов все основные детали изделия, у которых возможны резонансы в исследуемом диапазоне частот. Особое внимание уделяют деталям, определяющим структуру изделия и его функциональное назначение. Поиск резонансов проводят путем плавного изменения частоты при поддержании постоянной амплитуды перемещения в контрольной точке ниже частоты перехода и постоянной амплитуды ускорения выше частоты перехода для соответствующей степени жесткости (см. табл. 2).

Амплитуда ускорения должна быть минимально возможной, но достаточной для выявления резонанса и не превышающей амплитуды ускорения при испытании на виброустойчивость и вибропрочность.

Амплитуду перемещения рекомендуется выбирать из диапазона 0,5...1,5 мм, амплитуду ускорения — (1...5)g, при этом частоту перехода  $f_p$ , Гц, определяют по формуле

$$f_p = \sqrt{\frac{250J}{A}},$$

где  $J$  — амплитуда ускорения, g;  $A$  — амплитуда перемещения, мм.

Конкретные значения амплитуды перемещения и ускорения указаны в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Скорость изменения частоты должна быть такой, чтобы обеспечить возможность обнаружения и регистрации резонансов, и не превышать одной октавы в минуту.

Изделия считают выдержавшими испытания, если у них отсутствуют резонансы в диапазоне частот, указанном в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

## 2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Необходимо теоретически определить резонансную частоту  $f_p$  предоставленных преподавателем образцов РЭС.

1. Выполнить п. 1–3 настоящего руководства из 1.1. Определить компоненты плат, наиболее подверженные воздействию вибрации. Выявить наиболее опасные направления вибрации.

2. В соответствии с методикой определения резонансной частоты (см. 1.2.1) найти  $f_p$  предоставленных образцов. Произвести самостоятельные замеры габаритных размеров образцов с использованием штангенциркуля, предоставленного преподавателем.

3. В соответствии с полученными в п. 2 результатами рассчитать амплитудные и частотные диапазоны предстоящих исследований. Осуществить выбор экспериментального оборудования.

4. Выполнить п. 8, 9 настоящего руководства из 1.1. Результаты зафиксировать на эскизах образцов.

5. Оформить теоретические выкладки и продемонстрировать преподавателю для получения допуска к проведению эксперимента.

## 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 3.1. Описание лабораторной установки

#### 3.1.1. Вибрационный стэнд

В работе используется виброустановка с электродинамическим возбуждением GW-V400LT/DSA1-2K (рис. 4), техническая характеристика которой приведена ниже. Крепление образцов к вибростолу осуществляется с помощью воска.



**Рис. 4.** Внешний вид виброустановки GW-V400LT/DSA1-2K

## Техническая характеристика виброустановки GW-V400LT/DSA1-2K

Максимальное усилие (синус), Н .....	4600
Максимальное усилие (ШСВ), Н .....	2560
Максимальное усилие (виброудар), Н.....	13 800
Максимальное ускорение (синус), g .....	57
Максимальная скорость, м/с .....	0,81
Перемещение (пик-пик), мм.....	25,4
Диаметр стола, мм.....	333
Резонанс, Гц.....	2900
Частотный диапазон, Гц .....	DC...3000
Максимальная нагрузка, кг .....	160
Направление испытаний.....	Вертикальное
Футерки.....	M8
Масса вибратора, кг .....	640
Материал подвижной катушки .....	Медь
Мощность возбудителя, кВА .....	2
Мощность усилителя DSA1-2K, кВА.....	2
Внешние габариты вибратора (ш×г×в), мм .....	457×762×782

Дополнительно:

подвеска — U-образная без кулачковых механизмов. Центровка катушки за счет гибких пластин подвески;

система обезвешивания — за счет пневматики;

опоры — вертикальные изоляционные опоры с возможностью замены на поворотную цапфу;

возможность расширения — возможность увеличения толкающего усилия до 7,33 кН за счет установки блоков усилителя;

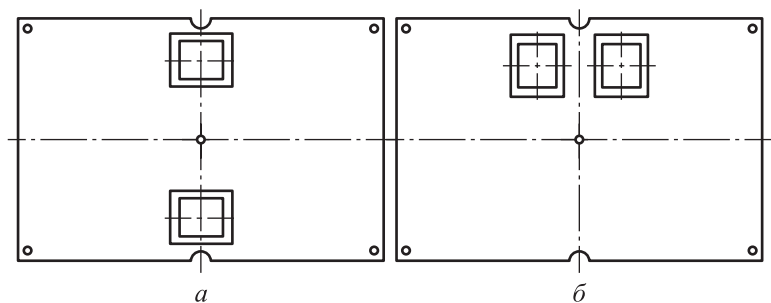
система охлаждения — воздушная система GW-V400-BLR в комплекте с подводами длиной 3 м.

### 3.1.2. Описание образцов

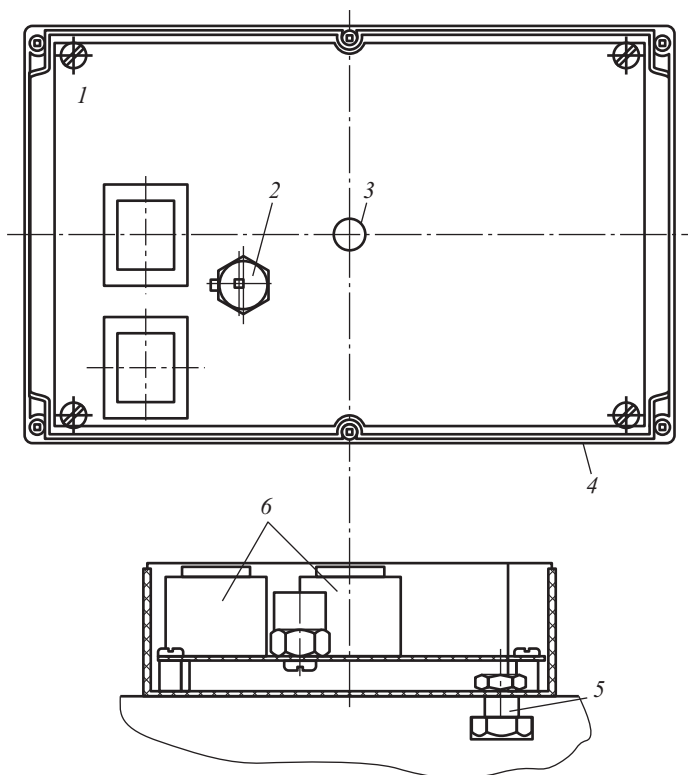
Образцы представляют собой три платы из стеклотекстолита с закрепленными на них трансформаторами (по 2 шт.). Расположения трансформаторов различны, на рис. 5 и 6 представлены три возможных варианта.

На плате также жестко закреплены акселерометры 8704B100M1 (KISTLER, одноосевой датчик, диапазон по ускорению  $\pm 100$  g, чувствительность — 50 мВ/г, диапазон частот — 0,5...10 кГц ( $\pm 5$  %), масса — 9,6 г, крепление — шпилька, воск).





**Рис. 5.** Внешний вид образцов 2 (а) и 3 (б)

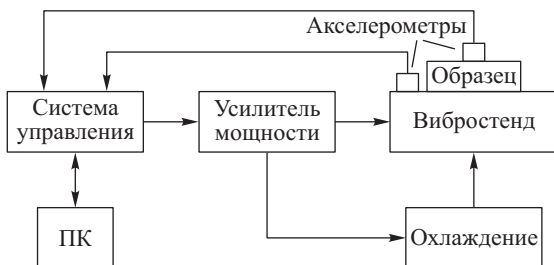


**Рис. 6.** Образец 1:

1 — плата; 2 — вибропреобразователь; 3 — крепление вибропреобразователя для измерения по направлениям  $X$  и  $Y$ ; 4 — корпус; 5 — крепление корпуса к вибростолу; 6 — трансформаторы

Плата установлена в корпус из поликарбоната G317 с посадочными отверстиями для жесткого соединения с вибростолом по трем поверхностям. Это, а также наличие приспособления для крепления датчиков, обеспечивает возможность проведения исследования каждого из образцов по всем трем направлениям —  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Структурная схема испытаний представлена на рис. 7.



**Рис. 7.** Структурная схема лабораторного стенда

## **3.2. Порядок выполнения эксперимента**

### ***3.2.1. Экспериментальное определение резонансных частот конструкций образцов***

1. Ознакомиться с экспериментальным стендом и расположением органов управления программным обеспечением.
2. Закрепить образец 1 на вибростоле для съема характеристик вдоль оси  $X$ .
3. Установить акселерометры на вибростол и испытуемый образец с помощью воска.
4. Осуществить коммутацию оборудования в соответствии со схемой.
5. Установить требуемые параметры в управляющем программном обеспечении.
6. Запустить испытание и сохранить полученную АЧХ образца в растровом формате.
7. Значение резонансной частоты и амплитуды определить по полученной АЧХ образца.
8. Занести полученные данные в табл. 3.
9. Снять образец с вибрационного стола.

10. Повторить действия согласно п. 3–9 для каждого из направлений  $Y$  и  $Z$  для всех трех образцов.

11. Сравнить теоретические и экспериментальные данные. Оценить сделанные предположения в п. 1 расчетной части. Выводы занести в отчет.

Таблица 3

Направление	Образец	Параметр					
		$f_T$ , Гц	$f_3$ , Гц	$A$ , мм	$f_{\Sigma T}$ , Гц	$f_{\Sigma 3}$ , Гц	$\Delta f$ , Гц
$X$	1						
	2						
	3						
$Y$	1						
	2						
	3						
$Z$	1						
	2						
	3						

### 3.2.2. Испытания на наличие резонансных частот конструкции в заданном диапазоне частот

1. Рассчитать частотный диапазон проводимых исследований в соответствии с 1.3 теоретической части — третья степень жесткости.

2. Установить исследуемый образец 4.

3. Выполнить действия согласно п. 3–7 из 3.2.1.

4. Убедиться в отсутствии резонансных частот конструкции образца 4 в выбранном диапазоне.

5. Повторить действия согласно п. 2–4 для направлений  $Y$  и  $Z$ .

6. Сделать вывод о наличии (отсутствии) резонансных частот конструкции РЭА в выбранном частотном диапазоне и занести в отчет.

### 3.3. Требования к отчету

Отчет должен содержать следующие разделы.

1. Тезисы теоретической части.

2. Все расчеты, проведенные в процессе выполнения работы как в расчетной, так и в экспериментальной части.
3. Структурную схему экспериментального стенда (см. рис. 7) и эскизы образцов (см. рис. 5, 6).
4. Экспериментальные данные для каждого направления (см. табл. 3).
5. Выводы о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие виды испытаний на механические воздействия вы знаете?
2. В чем состоит методика механических испытаний?
3. Как осуществляют проверку вибрационной установки перед началом новых испытаний?
4. Как вычисляют суммарную резонансную частоту  $f_{\Sigma}$  платы?
5. Поясните структурную схему экспериментального стенда (см. рис. 3).
6. В чем различие испытаний на наличие и отсутствие резонансных частот?

### **Литература**

Аппаратное обеспечение испытаний изделий на воздействие вибрации: учеб. пособие / В.Д. Шашурин и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.

*Глудкин О.П.* Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. М.: Высш. шк., 1991.

ГОСТ 16962–71. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.

*Федоров В.К., Сергеев Н.П., Кондрашин А.А.* Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. М.: Техносфера, 2005.

# **Лабораторная работа № 3**

## **ИСПЫТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**Цель работы** — изучение принципов и методик испытаний РЭС на температурные воздействия с использованием камеры тепла и холода.

### **1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

#### **1.1. Особенности методики испытаний**

Испытания РЭС на воздействие климатических факторов проводят для проверки способности изделий выполнять свои функции, сохранять параметры и (или) внешний вид в пределах установленных норм при воздействии климатических факторов.

Принята следующая структура методики испытаний РЭС на климатические воздействия:

- предварительная выдержка (стабилизация свойств изделия), первоначальные измерения параметров и внешний осмотр изделия;

- установка изделий в камеры, выдержка их в условиях испытательного режима, извлечение из камер и восстановление (конечная стабилизация свойств);

- внешний осмотр изделий и заключительные измерения параметров изделия.

Предварительную выдержку проводят для полного или частичного устранения последствий воздействия на изделия приведенных условий. Изделия выдерживают, как правило, в нормальных климатических условиях — температуре  $25 \pm 10$  °С, относительной влажности 45...75 %, атмосферном давлении, равном  $(0,86...1,06) \times 10^5$  Па.

Выдержку изделий, на результаты измерения параметров которых может существенно влиять относительная влажность, выполняют в условиях, обеспечивающих воспроизводимую толщину влаги, адсорбированной на поверхности изделия. Эти условия предусматривают строгое поддержание температуры (допустимое отклонение  $\pm 1$  °С) при относительной влажности 73...77 %. Продолжительность предварительной выдержки определяется време-

нем, достаточным для установления теплового равновесия изделий с окружающей средой. Обычно оно не превышает 2 ч. Первоначальные и заключительные измерения параметров изделий проводятся при одних и тех же значениях температуры и влажности окружающей среды.

При установке изделий в камере климатических испытаний необходимо следить за тем, чтобы между изделиями и стенками камеры, а также между самими изделиями свободно циркулировал воздух. Способ установки и положение изделий при испытании имеют важное значение для воспроизводимости его результатов. Если при эксплуатации возможно несколько вариантов положения изделия, то следует выбрать вариант, обеспечивающий наибольшую жесткость испытания. Если в процессе испытания электрическая нагрузка на РЭС не подается, изделия располагают на сетках из капроновых нитей, натянутых на опоры. При испытании с электрической нагрузкой изделия устанавливают на специальных платах, приспособлениях (кассетах, держателях, контактирующих устройствах). Металлические части приспособлений обязательно должны иметь антикоррозионное покрытие. Время выдержки в испытательном режиме отсчитывают с момента установления режима в камере. Это время при повышенной (пониженной) температуре должно быть достаточным для прогрева (охлаждения) изделий по всему объему.

Изделия в выключенном состоянии считаются достигшими температуры окружающей среды (теплового равновесия), если температура самых массивных частей (или других частей, указанных в ПИ и ТУ), определяющих прогрев по всему объему, отличается от температуры окружающей среды не более чем на  $\pm 3$  °С. Время прогрева (охлаждения) изделий по всему объему устанавливают на этапе предварительных испытаний с помощью датчиков для контроля температуры. Допускается не контролировать температуру частей аппаратуры, если эти части не имеют защиты, предназначенной для теплоизоляции. В этом случае изделие в зависимости от массы выдерживают для достижения температуры окружающей среды: 2 ч при массе изделия не более 2 кг; 3 ч — 2...10 кг; 4 ч — 10...20 кг; 6 ч — 20...50 кг; 8 ч — 50...100 кг; 10 ч — 100...300 кг. Требования к объему камеры в зависимости от размеров испытываемой аппаратуры и значения теплорассеивания с единицы ее поверхности устанавливают с учетом рекомендаций государственных стандартов.

При невозможности измерения параметров изделия без извлечения из испытательной камеры при различных видах испытаний

допускается проводить эти измерения вне камеры. Методика и время измерения параметров после извлечения из камеры оговариваются в ПИ и ТУ на изделие.

Допустимые отклонения воздействующих климатических факторов не должны превышать значений, указанных в табл. 4, если в НТД не указаны иные допустимые отклонения, обусловленные спецификой эксплуатации изделия.

*Таблица 4*

**Допустимые отклонения воздействующих климатических факторов**

<b>Воздействующий фактор</b>	<b>Допустимое отклонение</b>
Температура, °C: -200...-85 -85...+100 100...200 > 200	±5 °C ±2 °C ±5 °C ±10 °C
Скорость изменения температуры окружающей среды, °C/мин: 1...5 5...10	±20 % ±50 %
Относительная влажность по ТУ	±3 %
Пониженное давление: выше 1,331 Па (1 мм рт. ст.) 1,331...1,330 Па (0,01 мм рт. ст.) ниже 1,33 Па	±5 % или 1,331 Па* ±60 % ±30 %
Повышенное избыточное давление по ТУ, Па	±20 %
Солнечное излучение: интегральная плотность потока по ТУ, Вт/м <sup>2</sup>	±10 %
Плотность потока ультрафиолетовой части спектра по ТУ, Вт/м <sup>2</sup>	±25 %
Интенсивность дождя, кг/м <sup>2</sup>	±40
Массовая концентрация пыли по ТУ, г/л	±25 %
Скорость ветра по ТУ, м/с	±10
Массовая концентрация (массовая доля) коррозионноактивных агентов по ТУ, г/л	±10
* Допустимое отклонение в паскалях принимают в том случае, если оно больше допустимого отклонения в процентах.	

Внешний осмотр изделий осуществляется в соответствии с нормативно-технической документацией.

Климатические испытания проводят не только на стадии проектирования РЭС, но и в серийном производстве для отбраковки потенциально ненадежных изделий (приемо-сдаточные испытания) и для контроля стабильности производства (периодические испытания).

Режимы и условия испытания РЭС устанавливают в зависимости от степени жесткости, которая, в свою очередь, определяется условиями дальнейшей эксплуатации РЭС в составе системы. Изделия считают выдержавшими испытания, если они во время и после его проведения удовлетворяют требованиям, заданным в ПИ и ТУ для данного вида испытаний.

Для повышения информативности и эффективности климатических испытаний при освоении и производстве изделий целесообразно проводить их в таком порядке, при котором каждое последующее испытание усиливает воздействие предыдущего, которое могло бы остаться незамеченным. Рекомендуется так называемая нормализованная последовательность климатических испытаний, включающая испытание при повышенной температуре, кратковременное испытание на влагоустойчивость в циклическом режиме (первый цикл), испытания на воздействие пониженных температуры и атмосферного давления, испытание на влагоустойчивость в циклическом режиме (остальные циклы).

При этом между любыми из указанных испытаний допускается перерыв не более 3 сут, за исключением интервала между испытаниями на влагоустойчивость и воздействие пониженной температуры, который не должен превышать 2 ч. Параметры изделия обычно измеряют в начале и в конце нормализованной последовательности.

## **1.2. Испытания на воздействие повышенной температуры**

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

Различают два метода испытания РЭС на воздействие повышенной температуры: 1) испытание под термической нагрузкой;



2) испытание под совмещенной термической и электрической нагрузкой.

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

Изделия, отобранные для испытаний, должны удовлетворять требованиям ТУ по внешнему виду и значениям контролируемых параметров.

При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают под нормальной или максимально допустимой для данных изделий электрической нагрузкой, соответствующей верхнему значению температуры внешней среды, устанавливаемой в зависимости от степени жесткости испытаний (табл. 5).

*Таблица 5*

**Степень жесткости испытаний на воздействие  
повышенных температур**

<b>Степень жесткости</b>	<b>I</b>	<b>IV</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>	<b>X</b>	<b>XI</b>	<b>XII</b>	<b>XIII</b>
Температура, °C	40	50	70	85	100	125	155	200	250	315

В отечественной практике время испытания на повышенные температуры определяется временем, необходимым для достижения испытуемым изделием теплового равновесия. В зарубежной практике степень жесткости определяется не только температурой испытаний, но и временем выдержки при этой температуре, и выбирается из ряда 2, 16, 72, 96 ч.

Возможны два вида проведения испытаний теплорассеивающих изделий.

При первом способе достижение заданного температурного режима изделий определяется контролем температуры воздуха в камере, которая устанавливается равной верхнему значению температуры окружающей среды при эксплуатации (указанной в ТУ). При втором способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры участка

(блока) изделия, который имеет наибольшую температуру или является наиболее критичным для работоспособности изделия.

Испытания первым способом возможны, когда объем камеры достаточно велик. Чтобы имитировать условия свободного обмена воздуха, в камере отсутствует принудительная циркуляция воздуха или ее охлаждающим действием можно пренебречь. Проведение испытания по первому способу возможно также в случае, когда температура перегрева участка (узла) изделия, определенная в нормальных климатических условиях (вне камеры), не превышает 25 °С, и разность заданной температуры воздуха в камере при испытании и температуры нормальных климатических условий не превышает 35 °С. В остальных случаях испытание теплорассеивающих изделий следует проводить вторым способом. При испытании изделий только под термической нагрузкой их выдерживают при данной температуре в течение заданного времени.

Измерение параметров испытываемых изделий проводят после достижения теплового равновесия без извлечения изделий из камеры. Для проведения измерений изделие подключают к наружным коммутационным цепям измерительной системы. Если измерение параметров без извлечения из камеры технически невозможно, то допускается изъятие изделия из камеры для измерения. Однако время измерения не должно превышать 3 мин, если другое значение времени специально не оговорено в ТУ.

### **1.3. Испытания на воздействие пониженной температуры**

Испытания на воздействие пониженной температуры проводят с целью проверки параметров изделий в условиях воздействия низкой температуры внешней среды, а также после их пребывания в таких условиях. Изделия помещают в камеру холода, после чего устанавливают нижнее значение температуры по ТУ (табл. 6).

Материалы, применяемые для крепления малогабаритных изделий, должны обладать высокой теплопроводностью.

*Таблица 6*

#### **Степени жесткости испытаний на холодоустойчивость**

<b>Степень жесткости</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>
Температура, °С	–10	–25	–45	–60

Время выдержки при заданной температуре выбирают в зависимости от установленной жесткости испытаний из временного ряда значений, приведенных в ТУ. Проводят измерения тех же параметров, что и при испытании на воздействие повышенных температур.

Для проверки работоспособности изделия предусматривается выдержка изделий под электрической нагрузкой при заданной температуре.

Требования по расположению испытываемых изделий аналогичны требованиям при испытании на воздействие повышенных температур.

#### **1.4. Испытания на изменение температур**

Испытания на изменение температур проводят для определения способности изделий противостоять быстрой смене температур.

Испытания проводят одним из следующих методов.

*Метод двух камер* (быстрое изменение температуры). Испытания проводят в камерах тепла и холода без подачи на изделия электрической нагрузки. Изделия подвергают воздействию трех непрерывно следующих друг за другом циклов, если большее число циклов не установлено в ТУ. Каждый цикл состоит из следующих этапов:

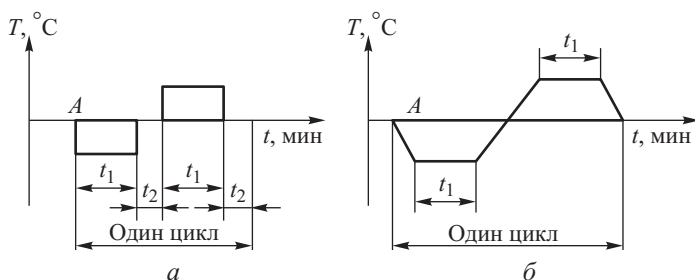
изделия помещают в камеру холода и выдерживают в течение времени, установленного в ТУ (рис. 8, *а*);

после выдержки в камере холода изделия переносят в камеру тепла и выдерживают в течение определенного времени.

*Метод одной камеры* (постепенное изменение температуры). Испытания проводят без подачи на изделия электрической нагрузки. Изделия подвергают воздействию двух непрерывно следующих друг за другом циклов. Каждый цикл состоит из следующих этапов:

изделия помещают в камеру, после чего температуру понижают и выдерживают в течение времени, указанного в ТУ;

температуру в камере повышают, выдерживают и понижают в течение определенного времени (рис. 8, *б*).



**Рис. 8.** Графики изменения температуры одного цикла:  
 а — при испытании методом двух камер; б — при испытании методом одной камеры; А — начало цикла;  $t_1$  — время выдержки;  $t_2$  — время переноса

*Метод двух жидкостных ванн* (резкое изменение температуры). Испытания проводят в двух ваннах с водой, в одной из которых вода имеет пониженную, а в другой — повышенную температуру. Изделия подвергают воздействию 10 циклов. Каждый цикл состоит из следующих этапов:

- изделия погружают в ванну с холодной водой;
- изделия погружают в ванну с кипящей водой.

*Комбинированный метод.* Испытания комбинированным методом проводят в камерах влажности, тепла и холода в следующем порядке:

- на воздействие повышенной влажности;
- на холодоустойчивость при температуре эксплуатации;
- на теплоустойчивость в камере под электрической нагрузкой;
- на воздействие повышенной влажности.

Изделия считаются выдержавшими испытание, если они удовлетворяют требованиям, заданным в ПИ или ТУ.

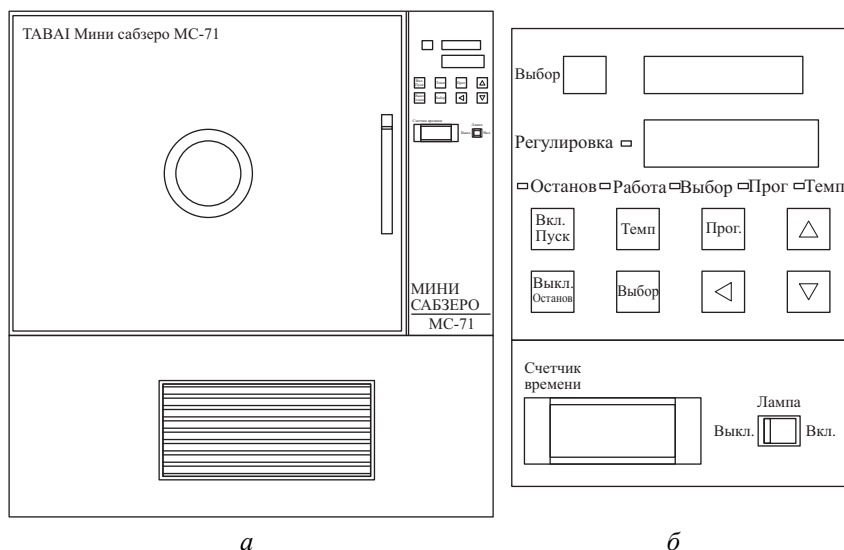
## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Описание лабораторной установки

#### 2.1.1. Камера тепла и холода

При проведении лабораторной работы используют камеру ТАВАІ тип МС-71 (Япония) (рис. 9), имеющую следующие технические характеристики:

Рабочий объем, л .....	64
Диапазон температур, °С .....	–70... +100
Точность поддержания температуры, °С .....	± 0,5
Габаритные размеры (ш × в × г), см .....	90 × 98 × 61
Масса, кг .....	120



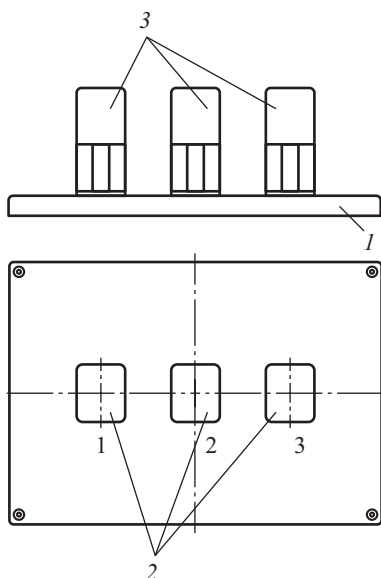
**Рис. 9.** Камера MC-71 (а) и ее управляющие элементы (б)

### 2.1.2. Описание образцов

Образцы представляют собой три идентичных электромагнитных реле (рис. 10), выбранных из партии. При подаче управляющего напряжения выходные контакты реле замыкаются. Для управления и контроля состояния реле без изъятия из камеры к их контактам припаяны медные провода длиной до 2 м.

В качестве управляющего источника тока используется аккумулятор. Для контроля состояния реле (замкнуто/разомкнуто) используется цифровой мультиметр МУ-61 с возможностью независимого измерения температуры внутри камеры.

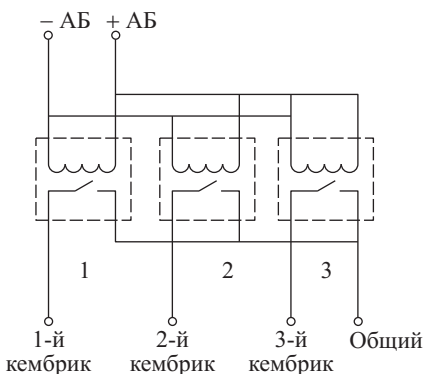
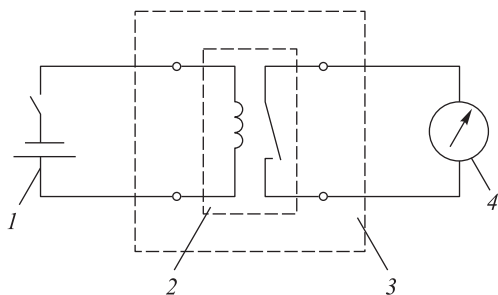
Структурная схема испытаний представлена на рис. 11, 12.



**Рис. 10.** Вид и расположение образцов реле:  
 1 — установочная панель; 2 — разъемы; 3 — электромагнитные реле

**Рис. 11.** Структурная схема лабораторного стенда:

1 — аккумулятор с переключателем; 2 — образец; 3 — климатическая камера; 4 — мультиметр



**Рис. 12.** Маркировка выводов для подключения образцов 1—3 к испытательному оборудованию

## 2.2. Порядок выполнения эксперимента

Целью работы является проверка предложенных образцов, выбранных из партии, на возможность использования в РЭС с рабочим диапазоном  $-50...+90$  °С. Реле должно сохранять сопротивление не более 3 Ом в замкнутом состоянии и не менее 20 МОм в разомкнутом.

1. Ознакомиться с экспериментальным стендом и расположением органов управления (см. рис. 9).

2. Загрузить исследуемые образцы на панели (см. рис. 10) в камеру.

3. Вывести провода из камеры и изолировать пропускное отверстие.

4. Закрыть камеру.

5. Собрать схему управления и контроля согласно рис. 11, 12. Проверить работоспособность схемы путем кратковременного включения/отключения реле. Зафиксировать показания мультиметра.

6. Включить камеру. Установить верхнюю границу температурного диапазона.

7. По достижении заданной температуры в камере провести замеры сопротивления образцов в включенном и отключенном состояниях. Зафиксировать полученные результаты.

8. Повторять п. 7 в течение 60 мин с периодичностью 5 мин.

9. Установить нижнюю границу температурного диапазона.

10. По достижении заданной температуры в камере провести замеры сопротивления образцов во включенном и отключенном состояниях. Зафиксировать полученные результаты.

11. Повторять п. 9 в течение 60 мин с периодичностью 5 мин.

12. Сделать вывод о возможности использования образцов в РЭС с рабочим диапазоном  $-50...+90$  °С.

13. Оформить отчет.

## 2.3. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Тезисы теоретической части.

2. Структурную схему экспериментального стенда (см. рис. 11, 12).

3. Экспериментальные данные.

4. Выводы о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие виды испытаний РЭС на климатические воздействия вы знаете?
2. Что понимают под нормализованной последовательностью климатических испытаний?
3. Какие методы испытаний РЭС на воздействие повышенной температуры вам известны и в чем их особенности?
4. Каким видам испытаний подвергались образцы в работе?
5. Поясните структурную схему экспериментального стенда (см. рис. 11, 12).

## Литература

- Глудкин О.П.* Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. М.: Высш. шк., 1991.
- ГОСТ 16962–71. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.
- Федоров В.К., Сергеев Н.П., Кондрашин А.А.* Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. М.: Техносфера, 2005.



# Содержание

<b>Предисловие .....</b>	<b>3</b>
<b>Лабораторная работа № 1, 2. Расчет и испытания на определение (отсутствие) резонансных частот конструкции радиоэлектронных средств .....</b>	<b>4</b>
1. Теоретическая часть .....	4
1.1. Общая структура и методические принципы проведения испытаний .....	4
1.2. Испытания на определение резонансных частот конструкции.....	8
1.3. Испытания на наличие резонансных частот конструкции в заданном диапазоне .....	13
2. Расчетная часть .....	15
3. Экспериментальная часть.....	15
3.1. Описание лабораторной установки .....	15
3.2. Порядок выполнения эксперимента.....	18
3.3. Требования к отчету .....	19
Контрольные вопросы .....	20
Литература.....	20
<b>Лабораторная работа № 3. Испытания радиоэлектронных средств на температурные воздействия .....</b>	<b>21</b>
1. Теоретическая часть .....	21
1.1. Особенности методики испытаний .....	21
1.2. Испытания на воздействие повышенной температуры.....	24
1.3. Испытания на воздействие пониженной температуры.....	26
1.4. Испытания на изменение температур .....	27
2. Экспериментальная часть.....	28
2.1. Описание лабораторной установки .....	28
2.2. Порядок выполнения эксперимента.....	31
2.3. Требования к отчету .....	31
Контрольные вопросы .....	32
Литература.....	32

*Учебное издание*

**Синавчиан** Сергей Нилувич  
**Федоркова** Нина Валентиновна  
**Синельщикова** Мария Андреевна

## **Испытания радиоэлектронных средств на механические и климатические воздействия**

Редактор *О.А. Кузнецова*  
Художник *А.С. Ключева*  
Корректор *Р.В. Царева*  
Компьютерная верстка *Г.Д. Волковой*

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 14.11.2014. Формат 60×90 1/16.  
Усл. печ. л. 2,25. Тираж 100 экз. Изд. № 157-2014. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)